



**TUGAS AKHIR -TL141584**

# **PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN PH TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI BAJA KARBON RENDAH PADA ASAM ASETAT MENGUNAKAN ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)**

**GILANG MAULANA HIDAYATULLAH**  
**NRP. 2712100053**

**Dosen Pembimbing:**  
**Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.**  
**NIP. 19760410 2002 12 1 002**  
**Wikan Jatimurti, ST., M.Sc.**  
**NIP.19830325 2014 04 1 001**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL & METALURGI**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2016**



**FINAL PROJECT -TL141584**

# **THE EFFECT OF ROTATIONAL SPEED AND PH TO CHARACTERISTICS OF CORROSION ON LOW CARBON STEEL IN ACETIC ACID USING THE ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)**

**GILANG MAULANA HIDAYATULLAH**  
**NRP. 2712100053**

**Advisor:**  
**Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.**  
**NIP. 19760410 2002 12 1 002**  
**Wikan Jatimurti, ST., M.Sc.**  
**NIP.19830325 2014 04 1 001**

**MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT**  
**FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY**  
**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**  
**SURABAYA**  
**2016**

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN PH  
TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI BAJA  
KARBON RENDAH PADA ASAM ASETAT  
MENGUNAKAN *ROTATING CYLINDER*  
*ELECTRODE (RCE)***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi  
Pada

Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Gilang Maulana Hidayatullah  
NRP. 2712 100 053

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Budi Agung Kurniawan, ST.,M.Sc.

Pembimbing 1

Wikan Jatimurti, ST.,M.Sc.

Pembimbing 2



**Januari 2016**

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR DAN PH TERHADAP  
KARAKTERISTIK KOROSI BAJA KARBON RENDAH  
PADA ASAM ASETAT MENGGUNAKAN *ROTATING  
CYLINDER ELECTRODE* (RCE)**

**Nama Mahasiswa** : Gilang Maulana Hidayatullah  
**NRP** : 2712 100 053  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

**Abstrak**

*Korosi merupakan bentuk degradasi material yang menyebabkan turunya sifat mekanik material tersebut. Fenomena korosi ini merupakan sesuatu yang pasti terjadi pada setiap logam. Laju korosi dari suatu material dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu nilai pH lingkungan dan karakteristik aliran fluida yang kontak langsung dengan logam. Ada beberapa cara untuk mensimulasikan karakteristik aliran fluida, metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu Rotating Cylinder Electrode (RCE), metode tersebut merupakan salah satu metode yang sering digunakan. Pada penelitian ini digunakan baja karbon rendah dan elektrolit Asam asetat dengan pH yaitu 4; 4,5; 5; dan 6 dan variasi kecepatan putaran yaitu 0 rpm, 50 rpm, dan 272 rpm, dengan diameter spesimen 10 mm dan tebal spesimen 10 mm. Pada pengujian weight loss selama 10 hari, didapatkan hasil laju korosi tertinggi pada pH 4 dengan kecepatan putar 272 rpm sebesar 0,4835 mm/y, dan dari pengujian tafel didapatkan 0,2220 mm/y. Hasil pengamatan SEM menunjukkan adanya perbedaan morfologi pada permukaan spesimen karena pengaruh kecepatan putaran. Kecepatan putaran mengakibatkan tergerusnya produk korosi oleh aliran dan menghasilkan profil aliran. Pada pengujian XRD dengan menggunakan spesimen pH 4 dan kecepatan putar 272 rpm hanya ditemukan unsur Fe akibat sedikitnya produk*

*korosi yang ada di permukaan spesimen, sedangkan pada pengujian XRD yang dilakukan pada spesimen dengan pH 4 dan kecepatan putar 0 rpm ditemukan unsur Fe dan senyawa FeOOH sebagai produk korosi.*

***Kata Kunci:*** Asam Asetat, Karakteristik korosi , Rotating Cylinder Electrode, pH.

# **THE EFFECT OF PH AND ROTATIONAL SPEED FLUID TO CHARACTERISTICS OF CORROSION ON LOW CARBON STEEL IN ACETIC ACID USING THE ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)**

**Student Name** : Gilang Maulana Hidayatullah  
**NRP** : 2712 100 053  
**Department** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Advisor** : Budi Agung Kurniawan,ST., M.Sc.  
Wikan Jatimurti, S.T.,M.Sc

## **Abstract**

*Corrosion is degradation of the material which cause a decline in the mechanical properties of the material. This corrosion phenomenon happen in every metal. The corrosion rate of a material is influenced by several factors, such as pH value of the environment and the characteristics of the fluid flow in direct contact with the metal. There are several ways to simulate fluid flow characteristics, the method used in this research is the Rotating Cylinder Electrode (RCE), that method is one method that is often used. In this research was used low carbon steel and acetic acid electrolyte with pH 4; 4.5; 5; and 6 and variations in rotation speed of 0 rpm, 50 rpm, and 272 rpm. Specimen diameter is 10 mm and 10 mm thickness. Weight loss test for 10 days, showed the highest corrosion rate at pH 4 with 272 rpm rotating speed of 0.4835 mm/y, and tafel test showed corrosion rate of 0.2220 mm/y. SEM observations showed morphological differences on the surface of the specimen due to the influence of the rotating speed. The rotating speed eroded the corrosion products and produce a flow profile. XRD with specimen pH 4 and rotational speed 272 rpm found only a single element Fe due to little amount of the corrosion products on the surface, while XRD testing with pH 4 and rotational speed 0 rpm found single element Fe and FeOOH compound as corrosion product.*

***Key Words:*** *Acetic Acid, Characteristic Corrosion , Rotating Cylinder Electrode, pH.*

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul

**“Pengaruh Kecepatan Putar dan pH Terhadap Karakteristik Korosi Baja Karbon Rendah Pada Asam Asetat Menggunakan *Rotating Cylinder Electrode (RCE)*”**

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Material dan Metalurgi - Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Dalam pengerjaan tugas akhir penulis mendapatkan bantuan oleh beberapa pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis Bapak Zamroni dan Ibu Munawaroh yang selalu mendukung penulis dengan kasih sayang mereka.
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu dan bimbingan.
3. Bapak Wikan Jatimurti, ST. M.Sc. selaku dosen co-pembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan semangat dan bimbingan.
4. Bapak Ir. Rochman Rochiem M.Sc. selaku Dosen Wali penulis pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS .
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Bapak Ibu dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS



7. Saudara M Fajar R yang telah menjadi partner kerja penulis selama pengerjaan TA.
8. Sahabat saya Nimas Ayu Harfian Putri yang selalu memberi semangat selama proses pengerjaan TA.
9. Keluarga besar MT 14 dan seluruh anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.
10. Dan seluruh pihak yang tidak mampu kami sebutkan satu per satu yang telah memberikan kontribusi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih banyaknya kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Perumusan Masalah .....	2
I.3 Batasan Masalah .....	2
I.4 Tujuan Penelitian .....	3
I.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
II.1 Korosi dan Mekanisme Korosi .....	5
II.2 Faktor yang Mempengaruhi Korosi .....	7
II.2.1 Karakteristik Aliran Fluida .....	9
II.2.2 Pengaruh pH .....	13
II.2.3 Asam Asetat .....	14
II.3 Perhitungan Laju Korosi .....	15
II.3.1 Metode Kehilangan Berat ( <i>Weight Loss</i> ) .....	15
II.3.2 Metode Ekstrapolasi Tafel .....	17
II.4 Rotating Cylinder Electrode .....	19
II.5 Penelitian Sebelumnya .....	21
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
III.1 Diagram Alir Percobaan .....	25
III.2 Prosedur Penelitian .....	26
III.2.1 Alat .....	26

III.2.2 Bahan .....	26
III.2.3 Preparasi RCE .....	27
III.2.4 Preparasi Uji <i>weight loss</i> .....	29
III.2.5 Preparasi Uji SEM.....	31
III.2.6 Preparasi Uji tafel.....	32
III.2.7 Preparasi Uji XRD.....	32
III.3 Pengujian-pengujian.....	39
III.3.1 Pengujian <i>weight loss</i> .....	32
III.3.2 Pengujian Tafel.....	33
III.3.3 Pengujian SEM.....	35
III.3.4 Pengujian XRD.....	36
III.4 Rancangan Pengambilan Data dan Penelitian.....	36
<b>BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
IV.1 Hasil Penelitian .....	39
IV.1.1 Hasil Pengamatan visual.....	39
IV.1.2 Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i> .....	40
IV.1.3 Hasil Pengujian Tafel .....	46
IV.1.4 Hasil Pengujian SEM .....	50
IV.1.5 Hasil Pengujian XRD .....	51
IV.2 Pembahasan .....	55
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
V.1 Kesimpulan .....	59
V.2 Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>xix</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>61</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Reaksi evolusi hidrogen pada asam.....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Jenis Aliran Fluida .....	10
<b>Gambar 2.3</b>	Grafik pengaruh pH terhadap laju korosi .....	16
<b>Gambar 2.4</b>	Skema Kurva Polarisasi yang menunjukkan Ekstrapolasi Tafel .....	18
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Skema Rotating Cylinder Electrode</i> .....	20
<b>Gambar 2.6</b>	Macam-macam bentuk <i>rotating electrode</i> .....	21
<b>Gambar 2.7</b>	Hubungan kecepatan putar dengan laju korosi .	22
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir .....	25
<b>Gambar 3.2</b>	Spesimen St 42 .....	27
<b>Gambar 3.3</b>	(A) Alat RCE; (B) <i>micro controller</i> pengatur kecepatan putar .....	28
<b>Gambar 3.4</b>	Pengamplasan Spesimen pada kertas Amplas .	29
<b>Gambar 3.5</b>	Penimbangan Spesimen dengan Alat Timbangan Digital .....	30
<b>Gambar 3.6</b>	Pengukuran dimensi spesimen menggunakan jangka sorong .....	39
<b>Gambar 3.7</b>	Pengukuran kecepatan putar.....	31
<b>Gambar 3.8</b>	RCE dengan susunan tiga spesimen .....	33
<b>Gambar 3.9</b>	Alat Uji Tafel Autolab (PGSTAT302N) .....	34
<b>Gambar 3.10</b>	Alat Pengujian SEM Inspect S50 .....	35
<b>Gambar 3.11</b>	Alat Pengujian XRD Pan Analytical .....	36
<b>Gambar 4.1</b>	Foto makro baja St 42. Dari kiri ke kanan pH 4; pH 4,5; pH 5; pH 6.....	39
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Laju Korosi pada larutan CH <sub>3</sub> COOH pH 4.....	42
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Laju Korosi pada larutan CH <sub>3</sub> COOH pH 4,5.....	43
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Laju Korosi pada larutan CH <sub>3</sub> COOH pH 5.....	44
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Laju Korosi pada larutan CH <sub>3</sub> COOH pH 6.....	45

<b>Gambar 4.6</b>	Kurva Polarisasi E <i>versus</i> log I Baja St 42 pada pH 4 .....	46
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Perbandingan Laju Korosi dari Hasil Pengujian Tafel dan <i>weight loss</i> pH 4 .....	47
<b>Gambar 4.8</b>	Kurva Polarisasi E <i>versus</i> Log I Baja St 42 pada pH 6 .....	48
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Perbandingan Laju korosi dari Hasil Pengujian Tafel dan <i>weight loss</i> pH 6 .....	49
<b>Gambar 4.10</b>	Gambar Pengujian SEM (A) pH 4; 0 rpm; 1000X , (B) pH 4; 272 rpm; 1000X, (C) pH 6; 272 rpm; 100X .....	51
<b>Gambar 4.11</b>	Hasil Pengujian XRD Baja St 42 pada larutan CH <sub>3</sub> COOH pH 4 dengan kecepatan putar 272.....	52
<b>Gambar 4.12</b>	Hasil Pengujian XRD Baja St 42 pada larutan CH <sub>3</sub> COOH pH 4 dengan kecepatan putar 0 .....	54

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Pengaruh Kecepatan fluida dengan laju korosi ( <i>miligrams per square decimeter per day</i> ) pada fluida air laut .....	12
<b>Tabel 2.2</b>	Karakteristik <i>Acetic Acid</i> .....	14
<b>Tabel 2.3</b>	Konstanta Laju Korosi .....	16
<b>Tabel 2.4</b>	Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi ....	17
<b>Tabel 2.5</b>	Perhitungan Hidrodinamik RCE pada Media Air .....	23
<b>Tabel 3.1</b>	Komposisi kimia baja st 42 .....	27
<b>Tabel 3.2</b>	Parameter Pengujian Tafel .....	34
<b>Tabel 3.3</b>	Tabel rancangan pengujian <i>weight loss</i> .....	37
<b>Tabel 3.4</b>	Tabel rancangan pengujian tafel .....	37
<b>Tabel 3.4</b>	Tabel rancangan pengujian XRD .....	38
<b>Tabel 4.1</b>	Data Pengujian <i>weight loss</i> .....	30
<b>Tabel 4.2</b>	Data Hasil Pengujian Tafel pH 4 .....	46
<b>Tabel 4.3</b>	Data Hasil Pengujian Tafel pH 6 .....	48
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Analisa <i>peak</i> pada pengujian XRD Baja St 42 pada CH <sub>3</sub> COOH pH 4 dengan kecepatan putar 272 .....	53
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil Analisa <i>peak</i> pada pengujian XRD Baja St 42 pada CH <sub>3</sub> COOH pH 4 dengan kecepatan putar 272 .....	54

*(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)*

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar belakang**

Perkembangan industri pada era globalisasi ini sangat pesat, seiring dengan perkembangan industri maka kebutuhan peralatan industri meningkat dan dapat beroperasi maksimal dengan umur pakai yang lama. Umumnya peralatan industri menggunakan material baja karbon, seperti pada bagian permesinan, *pipeline*, dan konstruksi bangunan. Kendala yang ditimbulkan dari pemakaian material baja karbon adalah korosi. Korosi merupakan salah satu musuh besar dalam dunia industri, beberapa contoh kerugian yang ditimbulkan korosi adalah terjadinya penurunan kekuatan material dan biaya perbaikan akan naik jauh lebih besar dari yang diperkirakan. (Utomo, 2009).

Upaya untuk menghindari dari kerugian yang akan didapat dari efek kegagalan material yaitu dengan memprediksi kekuatan dan umur pakai benda kerja dengan cara mensimulasikan material pembentuk benda kerja tersebut dengan memberikan perlakuan tertentu dengan menyederhanakan kondisi lapangan agar bisa dilakukan skala lab, seperti melakukan perlakuan pH fluida dan kecepatan aliran fluida. Pengaturan pH yang sering dilakukan adalah dengan menambahkan zat asam seperti asam asetat, pemilihan asam asetat tersebut dikarenakan zat tersebut termasuk kandungan pada fluida yang mengalir pada *pipeline* industri *oil and gas*.

Beberapa penelitian melakukan simulasi *flow loop* untuk mengkondisikan material uji bekerja seperti pada *pipeline* dengan mengatur kecepatan aliran dan membuat kondisi fluida mendekati kondisi nyata. Namun simulasi *flow loop* memiliki kendala pada penginstalan yang rumit dan kurang praktis pada saat akan digunakan. (Scheers, 1992). Untuk mengatasi kendala pada simulasi *flow loop*, maka mulai dilakukan penelitian menggunakan metode *Rotating Cylinder Electrode* (RCE) yang penggunaannya lebih praktis dan mudah dalam proses penginstalan. Metode RCE





telah ditinjau sejak tahun 1982-1995.(Gabe dkk, 1997). Aplikasi pengujian dengan metode RCE digunakan untuk melakukan pengujian mengenai proses elektrokimia, voltametri, elektrodeposisi dan korosi.. Metode *flow loop* dan RCE sering digunakan untuk mensimulasikan keadaan pada *pipeline* yang biasa digunakan dibidang industri *oil and gas* dan industri pertambangan. Pada aplikasinya *pipeline* digunakan untuk menyalurkan fluida yang bisa berupa *liquid* dan *gas*.

Pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode RCE dengan variasi pH pada asam asetat yaitu 4;4,5;5;6, dan variasi kecepatan putaran 0 rpm, 50 rpm, 272 rpm, parameter waktu yang digunakan yaitu 10 hari. Material yang digunakan adalah baja karbon rendah yang sering digunakan dalam bidang industri terutama sebagai material *pipeline*.

## 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi bahasan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kecepatan putar dan pH terhadap laju korosi baja karbon rendah pada lingkungan fluida asam asetat menggunakan *Rotating Cylinder Electrode*.
2. Bagaimana pengaruh kecepatan putar dan pH terhadap morfologi korosi pada permukaan baja karbon rendah pada lingkungan fluida asam asetat menggunakan *Rotating Cylinder Electrode*.

## 1.3. Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan dari penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Fluktuasi kecepatan putaran spesimen dan kecepatan aliran fluida dianggap konstan.
2. Kehalusan dari permukaan tiap-tiap baja karbon rendah dianggap homogen dan bebas cacat
3. Tidak ada perubahan terjadi pada temperatur, volume larutan dan PH selama pengujian



### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh kecepatan putar aliran dan pH terhadap laju korosi baja karbon rendah pada lingkungan fluida asam asetat *Rotating Cylinder Electrode*.
2. Mengenalisa pengaruh kecepatan putar dan pH terhadap morfologi korosi pada permukaan baja karbon rendah pada lingkungan fluida asam asetat menggunakan *Rotating Cylinder Electrode*.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui pengaruh kecepatan putar dan pH terhadap laju korosi pada pipa baja yang biasa diaplikasikan pada perusahaan minyak dan gas.
2. Hasil dari penelitian dapat dijadikan sebagai informasi yang saling melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya mengenai laju korosi menggunakan *Rotating Cylinder Electrode*.
3. Mampu memberikan inspirasi dan motivasi bagi peneliti lain agar dapat terus mengembangkan potensi yang ada pada penelitian yang menggunakan *Rotating Cylinder Electrode*.



*(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1. Korosi dan Mekanisme Korosi**

Korosi didefinisikan sebagai degradasi dari material yang diakibatkan oleh reaksi kimia dengan material lainya dan lingkungan. Akibat adanya reaksi korosi, suatu material akan mengalami perubahan sifat ke arah yang lebih rendah atau dapat dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang. Dalam bidang metalurgi, peristiwa korosi dapat dipandang sebagai suatu peristiwa atau reaksi senyawa kembali ke bentuk asalnya atau bisa disebut sebagai kebalikan dari proses metalurgi ekstraksi. (Nurhamzah, 2011).

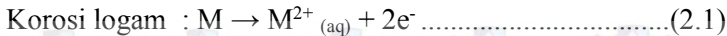
Pada umumnya proses korosi pada logam merupakan reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia adalah suatu reaksi yang melibatkan perpindahan. (Yusuf, 2008). Mekanisme terjadinya korosi membutuhkan beberapa komponen utama sebagai syarat terjadinya korosi yang antara lain adalah :

1. Anoda, sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi
2. Katoda, sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi
3. Elektrolit, sebagai penghantar arus listrik
4. Hubungan arus listrik antara anoda dengan katoda

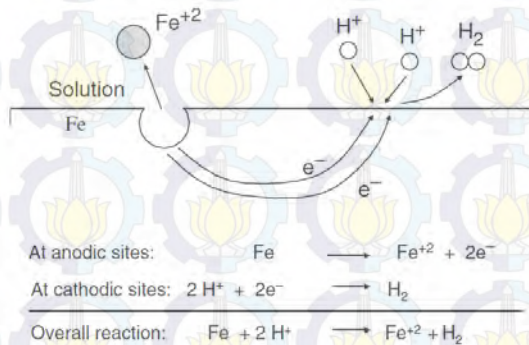
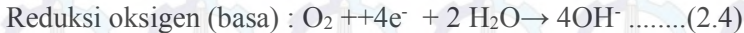
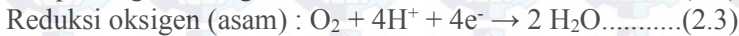
Syarat tersebut mutlak harus ada agar terbentuk suatu sel kerosi dan kemudian akan terjadi reaksi korosi. Korosi pada logam merupakan proses reaksi reduksi dan oksidasi kimia atau elektrokimia yang menyebabkan transfer elektron dari logam ke lingkungan. Pada dasarnya proses korosi adalah pelarutan logam oleh adanya reaksi permukaan logam dengan zat-zat kimia yang terkandung dalam lingkungan logam. Korosi pada logam melibatkan reaksi elektrokimia yaitu reaksi pelepasan elektron (reaksi oksidasi) dan penerima elektron (reaksi reduksi), dimana korosi dapat terjadi jika berada dalam suatu sel elektrolitik. Berikut ini adalah contoh reaksi anodik katodik dan skema evolusi hidrogen ditunjukkan pada gambar 2.1.



Reaksi Anodik:



Reaksi katodik:



**Gambar 2.1** Reaksi evolusi hidrogen pada asam  
(McCafferty,2009)

Proses korosi erat hubungannya dengan proses elektrokimia. Laju dari reaksi elektrokimia dibatasi oleh variasi fisik dan faktor kimia. Maka, sebuah reaksi elektrokimia dikatakan terpolarisasi oleh faktor lingkungannya. Polarisasi dapat dibagi menjadi dua yaitu *activation polarization* dan *concentration polarization*. *Activation polarization* bergantung pada proses elektrokimia yang dikontrol oleh urutan reaksi antar permukaan logam dengan elektrolit, *activation polarization* biasanya adalah faktor pengendali selama korosi dalam media yang mengandung spesies aktif dengan konsentrasi tinggi (contoh : konsentrasi asam).



*Concentration polarization* bergantung pada reaksi yang terkontrol oleh difusi pada elektrolit, *concentration polarization* umumnya mendominasi ketika konsentrasi dari *reducible species* kecil (contoh : asam terlarut dan larutan garam). (Fontana, 1987)

Faktor-faktor yang mempengaruhi *concentration polarization* yaitu: (Zaki, 2006)

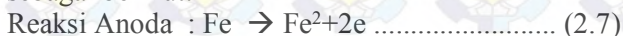
1. Temperatur, semakin meningkatnya temperatur maka akan mengurangi ketebalan lapisan difusi dan *corrosion current* akan meningkat.
2. Kecepatan, pada kecepatan yang tinggi akan membuat *contration polarization* menurun, bahkan pada kecepatan yang cukup tinggi *contration polarization* menjadi nol nilainya.
3. Konsentrasi dari spesies ion, *concentration polarization* umumnya hasil dari menipisnya ion di sekitar katoda.

## II.2. Faktor yang Mempengaruhi Korosi

Pada umumnya, masalah korosi disebabkan oleh air, tetapi ada beberapa faktor selain air yang juga banyak mempengaruhi laju korosi diantaranya:

### 1. Faktor Gas Terlarut

- Oksigen ( $O_2$ ): adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada mild steel alloys akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Sedangkan kandungan oksigen dalam kandungan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut:







- Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ): jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_2$ ) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang secara umum reaksinya adalah:



$\text{FeCO}_3$  merupakan produk korosi yang dikenal sebagai *sweet corrosion*.

## 2. Faktor Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur tidak seragam, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

## 3. Faktor pH

pH netral adalah 7, sedangkan  $\text{pH} < 7$  bersifat asam dan korosif, dan untuk  $\text{pH} > 7$  bersifat basa juga korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada  $\text{pH} < 7$  dan  $\text{pH} > 13$ .

## 4. Faktor *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB)

Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas  $\text{H}_2\text{S}$ , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

## 5. Faktor Padatan Terlarut

- Klorida ( $\text{Cl}$ ), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya pitting, crevice corrosion dan juga menyebabkan pecahnya alloys. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif laju korosinya juga akan lebih tinggi.



- Karbonat ( $\text{CO}_3$ ), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.
- Sulfat ( $\text{SO}_4$ ), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfida yang korosif.

### 6. Faktor Laju Aliran Fluida

Pada korosi  $\text{CO}_2$ , aliran yang mempengaruhi proses korosi merupakan kombinasi antara efek mekanis dan elektrokimia. Aliran akan menghasilkan lapisan yang lebih tipis karena akan mengurangi tingkat kejenuhan sehingga akan mempermudah gas karbon dioksida yang terlarut untuk membuat material terkorosi. Selain itu proses dari transport massa dan muatan akan berpengaruh pada kinetika proses korosi dalam lingkungan tersebut. Dengan adanya putaran yang lebih akan membuat laju korosi semakin tinggi. Disamping itu, ada pengaruh gaya mekanis berupa adanya *wall shear stress* pada antarmuka elektrolit dengan permukaan material yang memicu terjadinya korosi lokal dan kerusakan pada permukaan material (Ismail, 2010).

### II.2.1 Karakteristik aliran fluida

Suatu Fluida yang mengalir memiliki karakteristik aliran yang bergantung pada beberapa faktor laju alir, diameter dalam pipa, viskositas, dan massa jenis fluida. Dari keempat faktor tersebut akan mempengaruhi *Reynolds Number* (RE) yang menunjukkan karakteristik aliran fluida. Aliran fluida dibedakan menjadi 3 yaitu :

#### 1. Aliran laminar

Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dalam lapisan atau lamina-lamina yang bergerak secara merata.





## 2. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida dimana gerakan antar partikelnya tidak merata sehingga aliran pada pipa mengalami olakan dan menyebabkan tegangan geser meningkat yang akan membuat kerugian pada aliran tersebut.

## 3. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan peralihan aliran antara aliran laminar dan aliran turbulen.

Rumus untuk mengetahui *Reynolds Number* pada aliran linear yaitu (Scheers, 1992) :

$$RE : U \cdot d / \nu \dots \dots \dots (2.11)$$

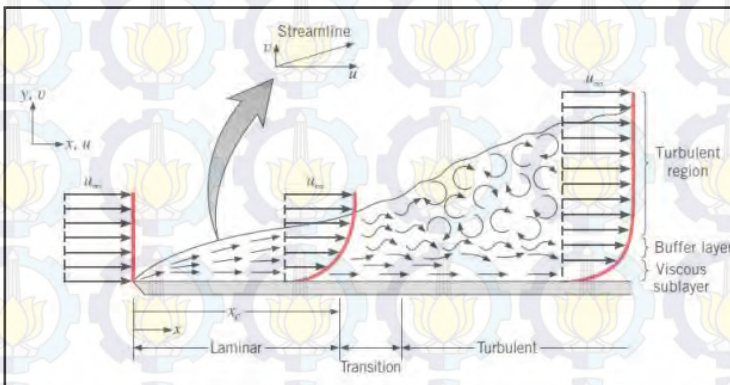
Dimana :

RE : *Reynolds Number*

U : Kecepatan aliran

d : Diameter pipa

$\nu$  : viskositas



**Gambar 2.2** Jenis Aliran Fluida. (Risonarta, 2015)

Untuk mengetahui karakteristik aliran fluida pada RCE berbeda dengan perhitungan pada aliran linear, perhitungan RE untuk RCE digunakan rumus yaitu (PINE, 2006) :



$$RE = U_{cyl} d_{cyl} \rho / \mu \dots \dots \dots (2.12)$$

RE = *Reynolds Number*

$U_{cyl}$  = Kecepatan aliran

$d_{cyl}$  = Diameter pipa

$\rho$  = massa jenis fluida

$\mu$  = Viskositas dinamik

Setelah didapatkan nilai RE maka akan diketahui karakteristik aliran fluida tersebut. Untuk klasifikasi aliran pada pipa, jika nilai RE kurang dari 2000 maka aliran tersebut laminar, jika nilai RE diantara 2000 dan 4000 maka aliran tersebut termasuk aliran transisi, dan untuk nilai RE lebih dari 4000 maka aliran tersebut aliran turbulen. Untuk klasifikasi aliran pada *Rotating Cylinder Electrode* (RCE), jika nilai RE kurang dari 200 maka aliran tersebut laminar, jika nilai RE 200 maka aliran tersebut aliran transisi, dan untuk nilai RE lebih dari 200 maka aliran tersebut turbulen. (PINE, 2006).

Karakteristik aliran fluida akan mempengaruhi laju korosi pada suatu material, semakin cepat kecepatan aliran fluida atau semakin turbulen karakteristik aliran fluida maka akan membuat laju korosi semakin meningkat. Laju aliran fluida merupakan penyebab kuat terjadinya mekanisme reaksi kerosi (Fontana, 1987).



**Tabel 2.1** Pengaruh kecepatan fluida dengan laju korosi (*milligrams per square decimeter per day*) pada fluida air laut. (Fontana, 1987)

Material	Typical corrosion rates, mdd*		
	1 ft/sec†	4 ft/sec‡	27 ft/sec§
Carbon steel	34	72	254
Cast iron	45	—	270
Silicon bronze	1	2	343
Admiralty Brass	2	20	170
Hydraulic bronze	4	1	339
G bronze	7	2	280
Al bronze (10% Al)	5	—	236
Aluminum brass	2	—	105
90-10 Cu Ni (0.8% Fe)	5	—	99
70-30 Cu Ni (0.05% Fe)	2	—	199
70-30 Cu Ni (0.5% Fe)	<1	<1	39
Monel	<1	<1	4
Stainless steel type 316	1	0	<1
Hastelloy C	<1	—	3
Titanium	0	—	0

Pada tabel 2.1 data laju korosi untuk semua material meningkat seiring dengan peningkatan laju aliran fluida, kecuali pada material titanium yang tidak mengalami korosi sama sekali.

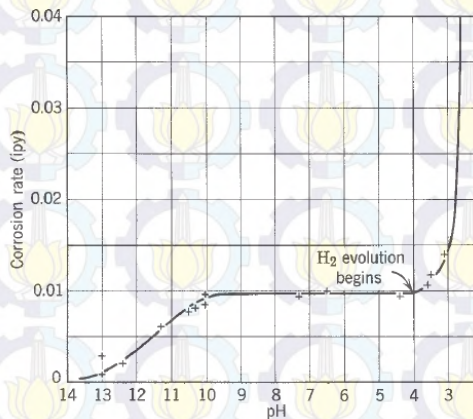
Laju aliran akan memberikan gaya geser pada dinding logam dan mempercepat perpindahan massa. Gaya geser dan perpindahan massa dipengaruhi oleh diameter, geometri, kekasaran permukaan, temperatur, viskositas, dan densitas. Proses korosi mempengaruhi kekasaran permukaan, dan hal tersebut akan mempengaruhi tegangan geser. (Dugstad dkk, 2006)





### II.2.2 Pengaruh pH

Tingkat keasaman pada lingkungan merupakan faktor yang mempengaruhi laju korosi dari suatu material, pengaruh tersebut dapat dilihat pada gambar 2.3 grafik pengaruh pH terhadap laju korosi pada temperatur ruangan. Pada kisaran pH sekitar 4-10, laju korosi independen dari pH dan hanya tergantung pada seberapa cepat oksigen berdifusi ke permukaan logam. Penghalang difusi utama hydrous oksida besi terus terbentuk akibat dari proses korosi. Pada daerah  $\text{pH} < 4$  film oksida besi terurai dan nilai pH pada permukaan menurun, kemudian terjadi peningkatan tingkat reaksi yang cukup tinggi pada reaksi evolusi hidrogen dan depolarisasi oksigen. Pada daerah di atas pH 10, peningkatan alkalinitas lingkungan menimbulkan peningkatan pH pada permukaan besi. Laju korosi menjadi berkurang karena besi menjadi semakin pasif akibat adanya alkali dan oksigen terlarut. (Revie dan Uhlig, 2008).

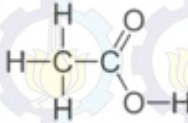


**Gambar 2.3** Grafik pengaruh pH terhadap laju (Revie dan Uhlig, 2008)



### II.2.3 Asam Asetat

Asam asetat atau acetic acid atau ethanoic acid adalah senyawa organik yang termasuk dalam golongan carboxylic acid dengan rumus kimia dari asam asetat sendiri adalah  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , dan dengan gugus fungsinya adalah (Triharto, 2010):



**Tabel 2.2** Karakteristik *Acetic Acid* (Triharto, 2010)

Polaritas gugus fungsi	karena adanya ikatan polar O-H dan C=O maka carboxylic acid adalah senyawa polar
Ikatan Hidrogen	Ikatan Hidrogen antara carboxylic acid molekul juga kuat dan ikatan hidrogen ini juga terjadi antara carboxylic acid dengan air.
Solubility dalam air	carboxylic acid yang berat molekulnya rendah sangat soluble dalam air dan solubilitasnya akan semakin turun dengan bertambahnya jumlah atom carbon.
Titik leleh dan titik didih	Ikatan hidrogen yang kuat antar molekul menyebabkan titik leleh dan didih dari carboxylic acid sangat tinggi.

Asam asetat terdisosiasi menurut reaksi berikut :



Pada peningkatan pH akan membuat potensial baja karbon semakin negatif. Kecenderungan ini disebabkan oleh meningkatnya arus oksidasi pada permukaan baja karbon yang berdampak pada peningkatan reaksi oksidasi besi pada proses anodik. Dengan meningkatnya arus oksidasi, aliran elektron dari



permukaan logam menuju larutan makin cepat dan pada antarmuka terjadi reaksi reduksi ion-ion  $H^+$  yang terdapat dalam larutan membentuk gas  $H_2$  (evolusi hidrogen) pada proses katodik. Asam asetat dapat meningkatkan laju korosi secara signifikan, diprediksi karena adanya reduksi langsung dari asam asetat pada permukaan baja. Asam asetat yang terdisosiasi tak sempurna dapat menimbulkan ion  $H^+$  cadangan lebih banyak sehingga asam asetat dapat berlaku sebagai penyuplai hidrogen. Selain itu asam asetat juga mempunyai efek terbatas terhadap pH karena dapat bertindak sebagai buffer. (Dewi, 2012)

### **II.3. Perhitungan Laju Korosi**

#### **II.3.1 Metode *Weight Loss***

Metode *weight loss* memiliki prinsip dengan memperhatikan pengurangan massa yang terjadi pada waktu tertentu.. Dalam hal ini pengukurannya dilakukan dengan menggunakan spesimen yang diekspose pada larutan tertentu. Sebelum dilakukan proses pengujian, terlebih dahulu dilakukan preparasi terhadap sampel yang akan digunakan. Pada umumnya sampel yang digunakan berbentuk segiempat atau silinder. Permukaan sampel kemudian dibersihkan dari oksida-oksida yang menempel, ada dua cara untuk menghilangkan oksida yang menempel yaitu dengan cara mekanik atau cara kimia, untuk cara mekanik spesimen diampelas menggunakan kertas ampelas hingga oksida yang menempel hilang, untuk cara kimia spesimen dicelupkan kedalam larutan HCl pekat dengan waktu tertentu, setelah dilakukan proses pembersihan hasil oksida dilanjutkan dengan melakukan pengukuran berat awal sampel. Kemudian sampel direndam kedalam larutan selama waktu yang telah ditentukan. Setelah proses perendaman selesai, dilakukan pembersihan dan pengukuran berat akhir sampel. Perbedaan berat awal dan berat akhir tersebut akan menjadi data untuk mengukur laju korosi sesuai dengan ASTM G1-03.





Dalam penentuan laju korosi suatu logam, maka digunakan persamaan berikut ini :

$$CR = \frac{K.W}{D.A.T} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

W = Berat yang hilang (gram)

D = Berat jenis logam (gram/cm<sup>3</sup>)

A = Luas permukaan kontak (cm<sup>2</sup>)

T = Waktu paparan (jam)

K = Konstanta laju korosi

**Tabel 2.3** Konstanta Laju Korosi (ASTM G1-03)

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
mils per year (mpy)	$3.45 \times 10^6$
Inches per year (ipy)	$3.45 \times 10^3$
Inches per mounth (ipm)	$2.87 \times 10^4$
Millimeters per year (mm/y)	$8.76 \times 10^7$
Micrometers per year (μm/y)	$8.76 \times 10^4$
Picometers per second (pm/s)	$2.78 \times 10^6$
Gram per square meter per hour (g/m <sup>2</sup> .h)	$1.00 \times 10^4 \times D^A$
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D^A$
Micrograms per square meter per second (μg/m <sup>2</sup> .s)	$2.78 \times 10^6 \times D^A$

**Tabel 2.4** Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi  
(Calister,2000)

Ketahanan korosi	laju korosi				
Relatif	Mpy	Mm/yr	μm/yr	Nm/yr	Pm/s
Sangat baik	<1	<0,02	<25	<2	<1
Baik	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Cukup	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	20-50
Kurang	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
Buruk	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200

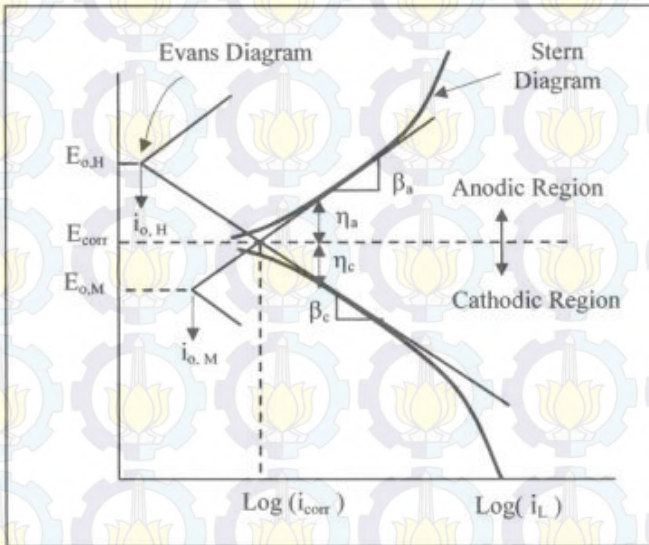
### II.3.2 Metode Polarisasi Tafel

Polarisasi merupakan suatu fenomena dimana terjadi penyimpangan potensial dari kondisi kesetimbangannya. Dengan metoda polarisasi, laju korosi dapat ditentukan oleh kerapatan arus yang timbul (*current density*) untuk menghasilkan suatu kurva polarisasi (tingkat perubahan potensial sebagai fungsi dari besarnya arus yang digunakan) untuk permukaan yang laju korosinya sedang ditentukan. Semakin tinggi kerapatan arus yang timbul, maka korosi akan semakin hebat begitupula sebaliknya. Ketika potensial pada logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah positif, maka hal ini disebut sebagai terpolarisasi secara anodik. Apabila potensial pada permukaan logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah negatif, maka disebut terpolarisasi secara katodik.





Pengujian polarisasi tafel ini akan menghasilkan grafik ekstrapolasi yang akan menginformasikan beberapa data, salah satunya adalah laju korosi keika diolah dengan *software*.



**Gambar 2.4.** Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel (Perez, 2004)

Untuk menghitung laju korosi dari kurva polarisasi dapat menggunakan *software* Nova atau dengan menggunakan persamaan. Berikut adalah persamaan yang akan digunakan dalam menentukan laju korosi dan laju kehilangan massa.

$$B = \frac{b_a \cdot b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \quad \dots \dots \dots (2.15)$$

dimana:

B = Stern-Geary constant (V)

$b_a$  = slope of anodic Tafel reaction (V/decade)

$b_c$  = slope of cathodic Tafel reaction (V/decade)



Setelah dilakukan perhitungan  $i_{cor}$  dengan persamaan dibawah ini.

$$i_{cor} = \frac{B}{R_p} \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana:

$i_{cor}$  = corrosion current density ( $\mu A/cm^2$ )

$R_p$  = polarization resistance ( $\Omega cm^2$ )

Kemudian dilakukan perhitungan *corrosion rate* dengan persamaan berikut.

$$CR = K_1 \frac{i_{cor}}{\rho} EW \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana:

CR = corrosion rate (mpy)

$K_1 = 0,1288$  (mpy g/  $\mu A cm$ )

$\rho$  = densitas logam ( $g/cm^3$ )

EW = equivalent weight (g/mol)

$$MR = K_2 \cdot i_{cor} \cdot EW \dots\dots\dots(2.18)$$

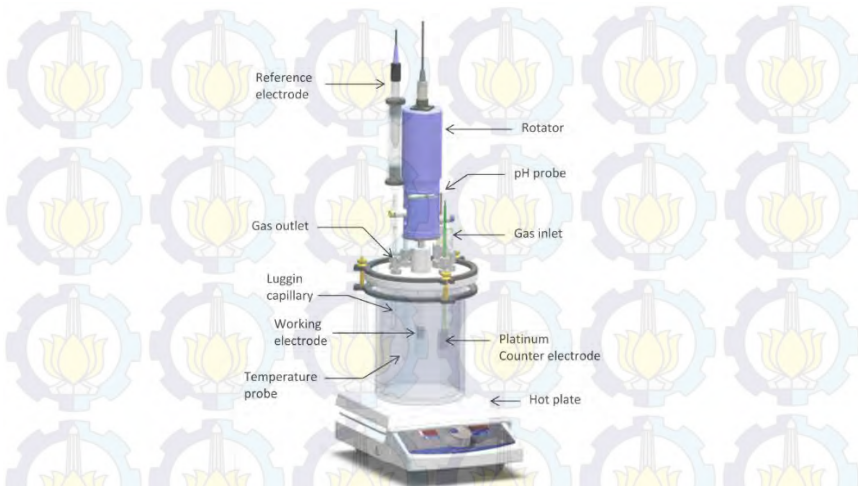
dimana:

MR = mass loss rate ( $g/m^2 d$ )

$K_2 = 8,954 \times 10^{-3}$  ( $g cm^2/\mu A m^2 d$ )

#### II.4 Rotating Cylinder Electrode

Rotating Cylinder Electrode (RCE) merupakan alat simulasi yang praktis untuk mensimulasikan beberapa proses diantaranya proses elektrokimia, voltametri, elektrodeposisi dan korosi. Beberapa penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa RCE merupakan solusi dari alat simulasi *flow loop* yang digunakan sebagai alat simulasi proses korosi namun, karena proses penginstalan yang rumit dan tidak praktis untuk dilakukan maka RCE menjadi pilihan alat simulasi korosi. Metode RCE telah ditinjau sejak tahun 1982-1995.(Gabe dkk, 1997). Skema gambar RCE dapat dilihat pada gambar 2.5 Skema alat *Rotating Cylinder Electrode* (RCE).



**Gambar 2.5** Skema alat *Rotating Cylinder Electrode* (RCE). (PINE, 2006)

Untuk mensimulasikan aliran pada pipa menggunakan alat RCE dibutuhkan data fluida yang mengalir pada pipa tersebut yang nantinya menjadi elektrolit pada wadah dan kecepatan linear aliran yang dikonversi dalam bentuk *radian per minutes* (RPM) dengan persamaan sebagai berikut (PINE, 2006),

$$U_{cyl} = \omega r_{cyl} = \pi d_{cyl} F / 60 \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

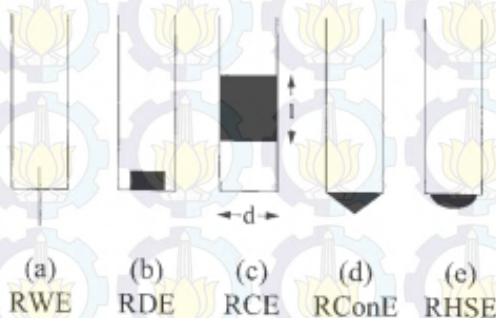
- $U_{cyl}$  : Kecepatan linear (cm/s)
- $\omega$  : Kecepatan putar ( rad/s)
- $r_{cy}$  : Jari-jari luar spesimen (cm)
- $d_{cyl}$  : Diameter luar spesimen (cm)
- $F$  : Kecepatan putar (RPM)

## II.5. Penelitian Sebelumnya





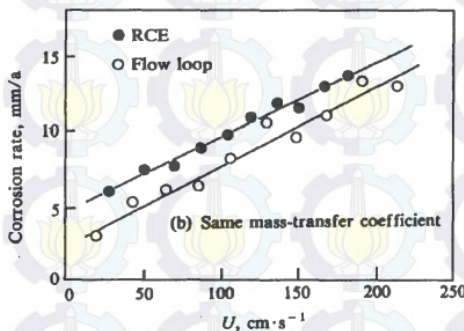
Pada penelitian sebelumnya Gabe dkk pada 1997 menjelaskan metode rotating electrode terdiri dari rotating wire electrode (RWE), rotating disc electrode (RDE), rotating cylinder electrode (RCE), rotating cone electrode (RConE), dan rotating hemispherical electrode (RHSE). Tetapi hanya RCE telah berkembang untuk diterima secara umum dan semakin banyak digunakan. RDE secara geometri merupakan bentuk intermediet antara RConE dan RHSE. RDE sering digunakan untuk aliran laminar dan RCE untuk aliran yang turbulen. Bentuk macam-macam *rotating electrode* dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Spesimen yang digunakan memiliki diameter 30,6 mm dan tebal 140 mm, kemudian rentang kecepatan yang dapat digunakan yaitu antara 0,6 sampai 36 RPM atau mendekati 0,08 m/s.



**Gambar 2.6** Macam-macam bentuk *rotating electrode*. (Gabe dkk, 1997)



Pada tahun 1992 Scheers melakukan simulasi RCE dan *flow loop* dengan variabel kecepatan aliran dan pH dengan fluida *minewater*, pada penelitian tersebut spesimen yang dipakai berdiameter 20 mm dan memvariasikan kecepatan putaran antara 200 sampai 500 RPM. Didapat hasil bahwa pengaruh kecepatan putar RCE mempengaruhi laju korsosi, kecepatan putar berbanding lurus dengan laju korosi yang dapat dilihat pada gambar 2.7 hubungan kecepatan putar dengan laju korosi.



**Gambar 2.7** Hubungan kecepatan putar dengan laju korosi.  
(Scheers, 1992)

PINE RESEARCH INSTRUMENT pada 2006 melakukan penelitian RCE dengan variasi kecepatan putar mulai dari 5 RPM sampai 2000 RPM pada temperatur ruangan menggunakan fluida air, preparasi speimen yang dilakukan PINE menggunakan diameter 12 mm, dari percobaan tersebut didapatkan hasil grafik linear antara kecepatan putaran dengan arus, hal tersebut menunjukkan bahwa laju korosi berbanding lurus dengan kecepatan putar karena arus berbanding lurus dengan laju korosi.



**Tabel II.5** Perhitungan Hidrodinamik RCE pada Media Air  
(PINE,2006)

Rotation Rate $F$ (RPM)	Rotation Rate $\omega$ (rad / sec)	Surface Velocity* $U_{cyl}$ (cm / sec)	Wall Shear Stress* $\tau_{cyl}$ (g cm <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> )	Reynolds Number* $Re$ (unitless)
5	0.524	0.31	0.0025	42
10	1.047	0.62	0.0082	84
20	2.094	1.26	0.0267	169
50	5.236	3.14	0.1270	422
100	10.47	6.28	0.4125	844
200	20.94	12.6	1.3402	1688
500	52.36	31.4	6.3631	4219
1000	104.7	62.8	20.674	8438
2000	209.4	125.7	67.169	16876

Tabel 2.5 menunjukkan variasi kecepatan putar (rpm) yang digunakan adalah 5 rpm hingga 2000 rpm, kenaikan kecepatan putar ini berbanding lurus dengan tegangan geser yang dihasilkan, artinya semakin tinggi kecepatan putar maka tegangan geser yang dihasilkan semakin tinggi.

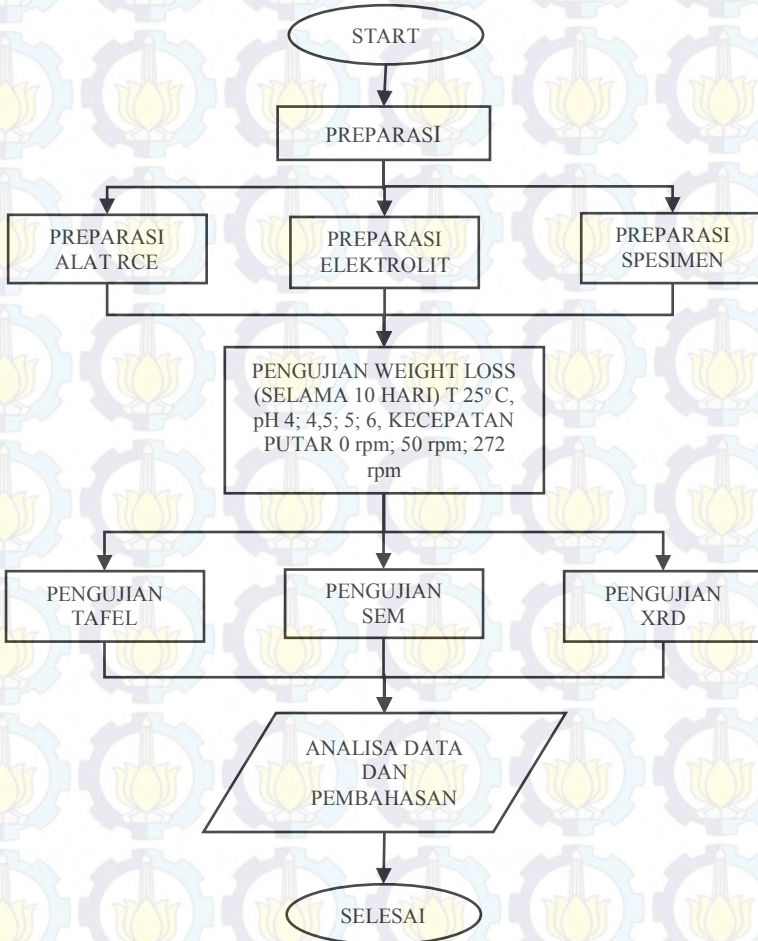


*(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)*



## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **III.1. Diagram Alir Percobaan**



**Gambar 3.1** Diagram Alir





### **III.2. Prosedur Penelitian**

#### **III.2.1 Alat**

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Dinamo
2. Kabel
3. Timbangan Digital
4. Indikator pH digital
5. Tacho Meter
6. Toples 800 ml
7. Peralatan Uji Tafel
8. Gelas Ukur
9. Gergaji
10. Pipet
11. Kertas Amplas
12. Timbangan Digital
13. Jangka Sorong
14. Wadah plastik
15. Solder
16. Kawat tembaga
17. Peralatan Pengujian SEM
18. Peralatan Pengujian Tafel

#### **III.2.2 Bahan**

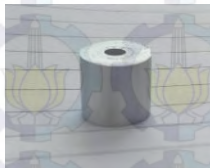
Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Material

Material yang digunakan adalah baja karbon rendah baja st 42, bentuk awal baja dengan dimensi diameter 10 mm dan panjang 10 mm permukaan logam diampelas dengan kertas gosok hingga grade 1000 dengan komposisi sebagai berikut.

**Tabel 3.1** Komposisi kimia baja st 42

Unsur	Kadar (%)
C	0,06-0,09
Si	0,1-0,25
Mn	0,3-0,6
P	0,03 (max)
S	0,035 (max)
Fe	Balance

**Gambar 3.2** Spesimen St 42

## 2. Elektrolit

Larutan elektrolit menggunakan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (Acetic Acid) glacial 17,3085 M yang diencerkan hingga 1 M, kemudian diencerkan lagi dengan aquades sampai pH 4; 4,5; 5, dan 6., untuk membuat larutan pH 4 dibutuhkan 15,8 ml  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1 M pada 2 liter aquades, untuk membuat larutan pH 4,5 dibutuhkan 12,8 ml  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1 M pada 2 liter aquades, untuk membuat larutan pH 5 dibutuhkan 9,8 ml  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1 M pada 2 liter aquades, untuk membuat larutan pH 6 dibutuhkan 3,8 ml  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1 M pada 2 liter aquades.

### III.2.3 Preparasi RCE

*Rotating Cylinder Electrode* (RCE) merupakan alat pemutar spesimen dengan putaran rotasi, bagian yang berputar sekaligus menjadi tempat spesimen adalah bagian poros, bagian poros ini terbuat dari material teflon dengan diameter  $\pm 10$  mm yang dicouple dengan dinamo agar bisa berputar dengan kecepatan tertentu. Pengaturan kecepatan RCE dikontrol melalui sistem *micro*



*controller*. Berikut merupakan alat RCE yang digunakan pada saat penelitian

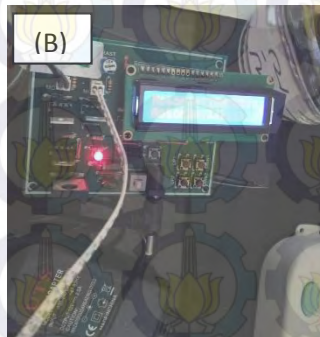
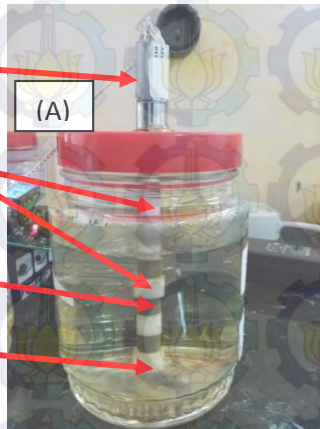
Dinamo

Poros

Penutup poros (teflon)

Spesimen

Tip



**Gambar 3.3** (A) Alat RCE; (B) *micro controller* pengatur kecepatan putar.

Sehingga apabila dilakukan pengurutan dari atas ke bawah dari RCE, antara lain

- Kabel
- Dinamo
- Couple
- Poros
- Spesimen



### III.2.4 Preparasi Uji Weight Loss

Pada pengujian ini, material yang digunakan adalah Baja st 42 yang berbentuk silinder. Kemudian bajat tersebut dibentuk menjadi ukuran diameter 10 mm dan panjang 10 mm sebanyak 36 spesimen.

#### 1. Pengampelasan Sampel

Sampel yang sudah dibentuk sesuai ukuran kemudian diampelas untuk menghilangkan produk korosi yang ada dipermukaan sampel. Pengampelasan dilakukan pada grade 120, 240, 400, dan 1000



**Gambar 3.4** Pengamplasan Spesimen pada kertas Amplas.

#### 2. Pengukuran berat awal sampel

Setelah spesimen diampelas hingga grade 1000, sampel diukur menggunakan timbangan digital untuk mengetahui massa dalam satuan gram.





**Gambar 3.5** Penimbangan Spesimen dengan Alat Timbangan Digital

3. Pengukuran dimensi spesimen

Setelah spesimen ditimbang kemudian spesimen diukur panjangnya dan diameter spesimen menggunakan jangka sorong.

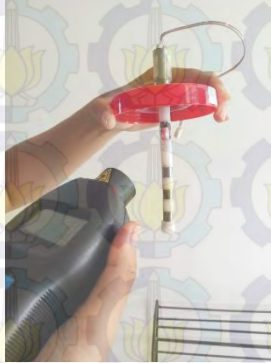


**Gambar 3.6** Pengukuran Dimensi Spesimen Menggunakan Jangka Sorong.



#### 4. Pengukuran kecepatan putar

Sebelum spesimen dicelup dan diputar pada media  $\text{CH}_3\text{COOH}$  alat RCE harus disesuaikan kecepatan putarnya menggunakan alat pengukur rpm yaitu tacho meter. Kecepatan putar diatur 50 rpm dan 272 rpm menggunakan komponen digital pengatur kecepatan pada RCE.



**Gambar 3.7**

Pengukuran Kecepatan putar.

#### 5. Pencelupan dengan putaran.

Setelah spesimen terpasang pada alat RCE kemudian speimen dicelupkan pada  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan kecepatan 0 rpm, 50 rpm, dan 272 rpm selama 10 hari seperti pada gambar 3.7.

### III.2.5 Preparasi Uji SEM

Pada pengujian SEM ini dimensi spesimen yang dipakai mengikuti dimensi spesimen yang akan digunakan pada RCE yaitu dengan diameter 10 mm dan tinngi 10 mm. Spesimen yang digunakan sejumlah 3 spesimen yang sudah dicelupkan selama 10 hari di  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4 dengan kecepatan putar 0 rpm dan 272 rpm, untuk pH 6 dengan kecepatan putar 272 rpm.



### III.2.6 Preparasi Uji Tafel

Pada pengujian ini spesimen yang digunakan sama dengan spesimen *weight loss* dan preparasi awal sama dengan pengujian *weight loss*. Spesimen yang diuji berjumlah 4 spesimen dengan variabel pH 4 dan pH 6, untuk kecepatan putar yang digunakan adalah 50 rpm dan 272 rpm. Kemudian spesimen diberikan perlakuan simulasi RCE selama 1 jam. Bentuk spesimen pada pengujian tafel seperti pada gambar 3.2.

### III.2.7 Preparasi Uji XRD

Pengujian XRD ini menggunakan spesimen yang dipotong hingga ketebalan kurang dari 4 mm, kemudian dicelupkan dan diputar di dalam larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  selama 10 hari. Dari pengujian XRD didapatkan senyawa apa saja yang terkandung akibat pencelupan dan pemutaran spesimen di dalam larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

## III.3. Pengujian-pengujian

### III.3.1. Pengujian *weight loss*

Pengujian *weight loss* dilakukan untuk menghitung laju korosi dari data berat awal spesimen dengan menggunakan timbangan digital dan berat akhir spesimen setelah mengalami perlakuan selama 10 hari, dari data tersebut didapatkan perbedaan berat awal dan berat akhir yang nantinya akan dikonversi menjadi laju korosi (mm/y) dari material tersebut. Langkah-langkah untuk melakukan pengujian *weight loss* yaitu:

1. Preparasi spesimen dengan mengamplas menggunakan kertas amplas grade 120, 240, 400, 1000 untuk menghilangkan produk korosi dan meratakan permukaan spesimen.
2. Memasang spesimen pada poros RCE dengan jumlah spesimen sebanyak 3 buah spesimen.
3. Memasukan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  kedalam toples sebanyak  $\pm 600$  ml.
4. Mengatur kecepatan putar RCE 50 rpm, 272 rpm dengan tachometer dan pengaturan dilakukan melalui sistem





*microcontroller* untuk memperoleh kecepatan yang diinginkan.

5. Masukkan poros RCE ke dalam toples yang sudah berisi larutan dan biarkan spesimen terendam dan berputar selama 10 hari, kemudian dilakukan pembersihan spesimen dari produk korosi dengan sikat dan ditimbang massa akhir spesimen.



**Gambar 3.8** RCE dengan Susunan Tiga Spesimen

### III.3.2. Pengujian Tafel

Pengujian dilakukan untuk mengetahui secara langsung laju korosi dari suatu logam. Hasil pengukuran polarisasi berupa kurva polarisasi yang menyatakan hubungan potensial dan arus setiap saat. Selanjutnya kurva tersebut diekstrapolasi dengan teknik tafel untuk memperoleh besaran-besaran yang berkaitan dengan korosi pada baja karbon, parameter yang didapat dari hasil pengujian ini adalah potensial korosi ( $E_{corr}$ ), rapat arus ( $I_{corr}$ ) dan laju korosi (Corrossion Rate) dengan menggunakan alat tafel Autolab (PGSTAT302N) dan dianalisa menggunakan *software* Nova.





Komponen penting Potentiostat yaitu :

a. Elektroda Kerja (Work Electrode)

Elektroda kerja pada penelitian ini adalah baja st 42 berbentuk silinder dengan luas permukaan rata rata yang terekspose sebesar  $\pm 1,70 \text{ cm}^2$ .

b. Elektroda Acuan (Reference Electrode)

Elektroda acuan adalah elektroda yang menjadi acuan bagi pengukuran terhadap elektroda kerja. Pada percobaan kali ini digunakan reference electrode berupa Ag/AgCl.

c. Elektroda Bantu (Counter Electrode)

Elektroda bantu adalah elektroda yang khusus untuk mengalirkan arus dalam rangkaian yang terbentuk. Material yang dipakai pada percobaan kali ini adalah platina berbentuk lembaran dengan panjang sekitar  $\pm 20 \text{ mm}$  dan lebar  $\pm 20 \text{ cm}$ .

**Tabel 3.2** Parameter Pengujian Tafel

<i>Equivalent Weight</i>	27,92 g/mol
Densitas	7,86 g/cm <sup>3</sup>
<i>Scan Rate</i>	0,001 V/s
<i>Start Potensial</i>	-0,05 V versus OCP
<i>Finish Potensial</i>	0,05 V versus OCP



**Gambar 3.9** Alat Uji Tafel Autolab (PGSTAT302N).



---

**III.3.3. Pengujian SEM**

Pengujian dengan Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan untuk mengetahui morfologi dari suatu material. SEM merupakan jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindai dengan sinar elektron yang difokuskan. Elektron berinteraksi dengan atom dalam sampel, untuk memproduksi berbagai sinyal yang dapat dideteksi dan yang mengandung informasi tentang morfologi permukaan, dengan melakukan pengujian ini akan tampak perbedaan morfologi dari material yang belum mengalami perlakuan RCE dengan perbedaan pH dan kecepatan putar dengan Alat SEM Inspect S50. Gambar alat SEM dapat dilihat pada gambar dibawah.



**Gambar 3.10** Alat Pengujian SEM Inspect S50.



### III.3.4. Pengujian XRD

Pengujian dengan X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terkandung dari suatu material. Pengujian ini merupakan salah satu metode karakteristik material yang paling tua dan sering digunakan untuk hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa memberikan interferensi yang konstruktif. Pada pengujian ini akan diidentifikasi produk korosi yang terbentuk dengan menggunakan alat XRD Pan Analytical. Gambar alat XRD dapat dilihat pada gambar dibawah.



**Gambar 3.11** Alat Pengujian XRD Pan Analytical

### III.4 Rancangan Pengambilan Data dan Penelitian

Untuk memudahkan dalam mengolah dan menganalisa data yang didapat, maka dibuat rancangan pengambilan data sebagai berikut :



**Table 3.3** Tabel rancangan pengujian weight loss

No	pH	rpm	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Rata-rata lajui korosi
1	4	0					
2		50					
3		272					
4	4,5	0					
5		50					
6		272					
7	5	0					
8		50					
9		272					
10	6	0					
11		50					
12		272					

**Table 3.4** Tabel rancangan pengujian tafel

Medium	pH	-Ecorr	Icorr	CR (mm/y)
CH <sub>3</sub> COOH	4			
	4,5			
	5			
	6			



**Table 3.5** Tabel rancangan pengujian XRD

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]

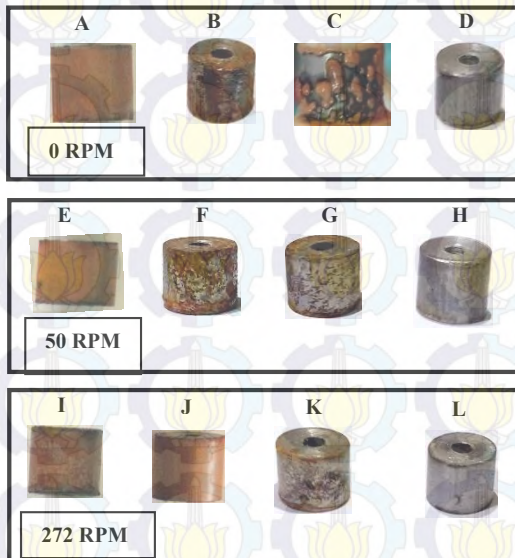


## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### IV.1. Hasil Penelitian

#### IV.1.1. Hasil Pengamatan Visual

Pada pengamatan visual yang ditunjukkan gambar 4.1 tampak adanya perbedaan warna pada spesimen, perbedaan tersebut tampak jelas antara spesimen yang diputar dan dicelupkan pada elektrolit  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4; 4,5; 5; 6, yang paling tampak paling terkorosi adalah pH 4 yang ditunjukkan gambar 4.1 A,E,I memiliki warna dominan merah bata pada permukaan baja, sedangkan pada gambar 4.1 B,C,F,G,K memiliki warna sebagian merah bata dan silver, dan pada gambar 4.1 D,H,L tampak warna dominan pada permukaan yaitu warna silver yang merupakan warna dari baja St 42, hal tersebut menunjukkan bahwa produk korosinya sedikit.



**Gambar 4. 1** Foto makro baja St 42. Dari kiri ke kanan pH 4; pH 4,5; pH 5; pH 6.



#### IV.1.2. Hasil Pengujian *Weight Loss*

Berikut adalah hasil analisa data mengenai pengaruh pH dan kecepatan putar terhadap laju korosi baja St 42, dari pengujian *weight loss* didapatkan data pada tabel 4.1.

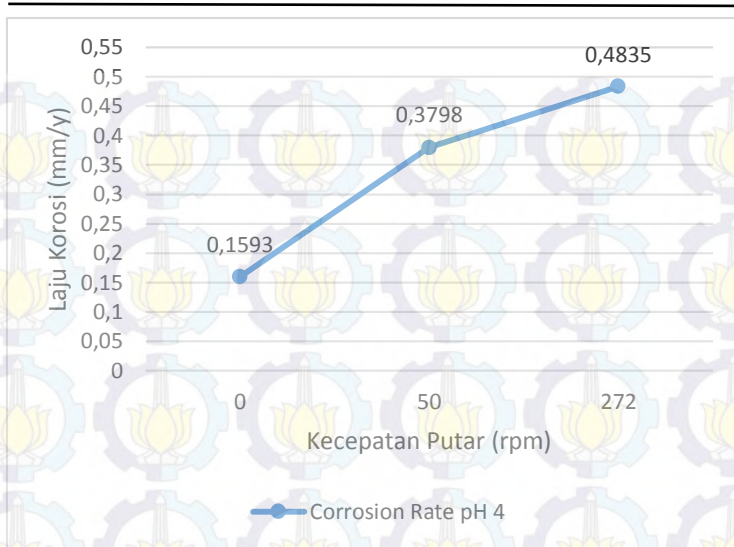
**Tabel 4.1** Data Pengujian *weight loss*

No	pH	rpm	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Rata-rata laju korosi (mm/y)
1	4	0	4,9251	4,9149	0,0102	0,1629	0,1593
2			5,1185	5,1082	0,0103	0,1561	
3			5,1068	5,0961	0,0107	0,1589	
4		50	4,9956	4,9711	0,0245	0,3850	0,3798
5			5,1628	5,1376	0,0252	0,3819	
6			5,134	5,1098	0,0242	0,3725	
7		272	4,9362	4,9047	0,0315	0,4925	0,4835
8			5,1042	5,073	0,0312	0,4681	
9			5,001	4,969	0,0320	0,4899	
10	4,5	0	5,2982	5,2904	0,0078	0,1170	0,1097
11			5,4561	5,4492	0,0069	0,1035	
12			5,6718	5,6646	0,0072	0,1086	
13		50	5,2614	5,2531	0,0083	0,1277	0,1262
14			4,9417	4,9337	0,0080	0,1312	
15			5,1035	5,0958	0,0077	0,1197	
16		272	4,9195	4,9093	0,0102	0,1665	0,1672
17			4,616	4,6069	0,0091	0,1559	
18			4,7863	4,7759	0,0104	0,1793	
19	5	0	5,2697	5,2666	0,0031	0,0475	0,0429
20			5,3655	5,3625	0,003	0,0457	



21			5,4141	5,4117	0,0024	0,0355	
22			5,1215	5,1164	0,0051	0,0805	
23		50	4,9243	4,9196	0,0047	0,0767	0,0709
24			4,9262	4,9228	0,0034	0,0554	
25			4,5449	4,5385	0,0064	0,1135	
26		272	4,8013	4,7939	0,0074	0,1240	0,1228
27			4,8017	4,7938	0,0079	0,1310	
28			4,8461	4,8438	0,0023	0,0374	
29		0	5,4564	5,4539	0,0025	0,0357	0,0388
30			5,5363	5,5333	0,003	0,0433	
31			4,8184	4,8137	0,0047	0,0742	
32	6	50	5,3678	5,3639	0,0039	0,0579	0,0661
33			5,2337	5,2293	0,0044	0,0660	
34			4,8526	4,8472	0,0054	0,0915	
35		272	4,6819	4,6777	0,0042	0,0674	0,0804
36			4,7969	4,7920	0,0049	0,0824	

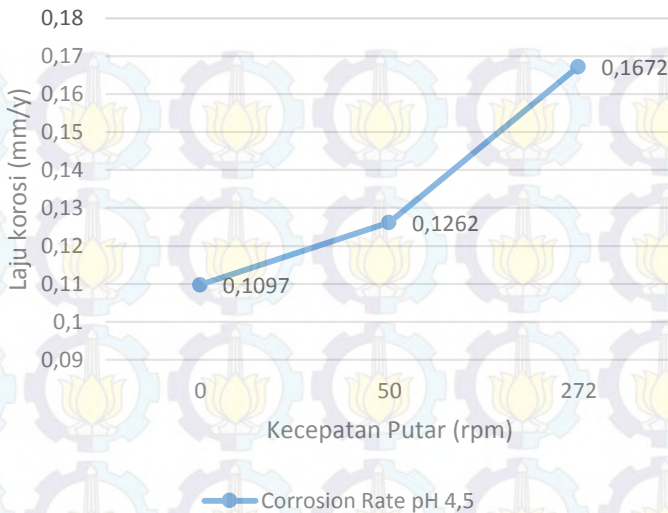
Dari data tersebut dapat dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar terhadap laju korosi pada setiap pH.



**Gambar 4. 2** Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Laju Korosi pada larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4.

Gambar 4.2 menunjukkan pengaruh kecepatan putar terhadap laju korosi baja St 42 pada larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan pH 4. Pada kecepatan putar tertinggi yaitu 272 rpm memiliki laju korosi tertinggi sebesar 0,4835 mm/y dan laju korosi terendah pada kecepatan putar terendah yaitu 0 rpm sebesar 0,1092 mm/y. Nilai laju korosi pada kecepatan putar 50 rpm sebesar 0,3798 mm/y, dari nilai laju korosi tersebut hubungan antara laju korosi dan kecepatan putar berjalan linier.

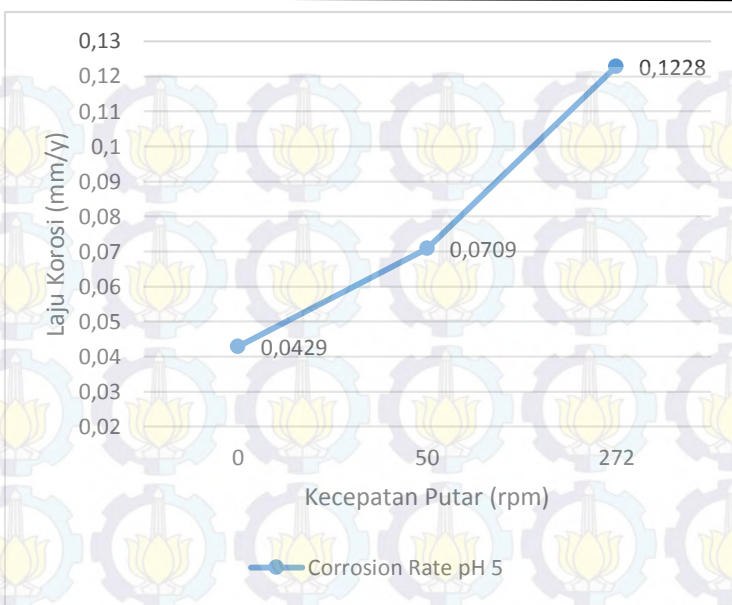




**Gambar 4.3** Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Laju Korosi pada larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4,5.

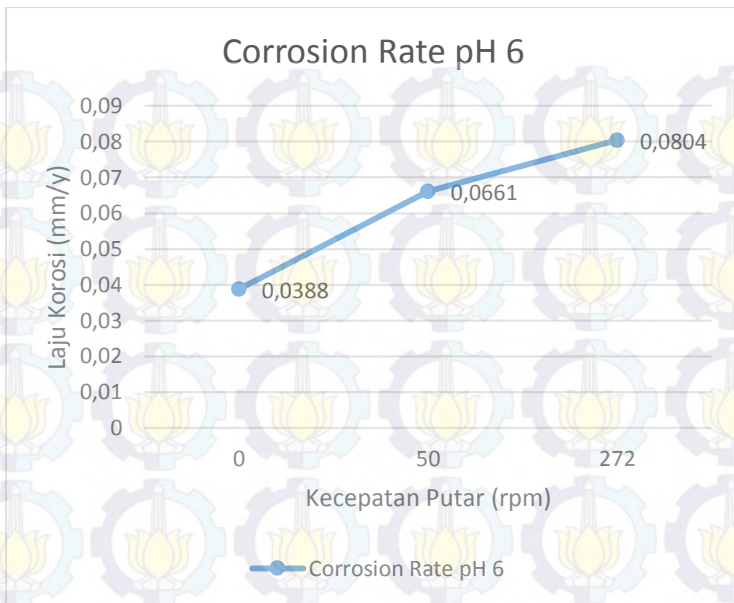
Gambar 4.3 menunjukkan kecepatan putar berpengaruh meningkatkan laju korosi yang ditunjukkan pada nilai laju korosi paling besar pada kecepatan putar paling tinggi yaitu pada kecepatan putar 272 rpm dengan laju korosi sebesar 0,1672 mm/y dan laju korosi paling rendah yaitu pada 0 rpm dengan nilai laju korosi sebesar 0,1097 mm/y. Terjadi laju korosi yang meningkat cukup signifikan antara laju korosi pada 50 rpm sebesar 0,1262 mm/y dengan laju korosi pada 272 rpm dibandingkan laju korosi pada rpm 0 dengan laju korosi pada 50 rpm.





**Gambar 4. 4** Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Laju Korosi pada larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 5.

Gambar 4.4 menunjukkan laju korosi paling tinggi pada 272 rpm yaitu 0,1228 mm/y dan laju korosi paling rendah pada rpm 0 yaitu 0,0429 mm/y. Grafik laju korosi pada pH 5 ini memiliki tren kenaikan yang mirip dengan grafik laju korosi pada pH 4,5. Titik kenaikan yang cukup signifikan terletak pada 50 rpm dengan nilai sebesar 0,0709 mm/y menuju ke kecepatan 272 rpm. Secara keseluruhan laju korosi pada pH 4;4,5;5 memiliki tren laju korosi yang meningkat pada setiap kenaikan kecepatan putar.



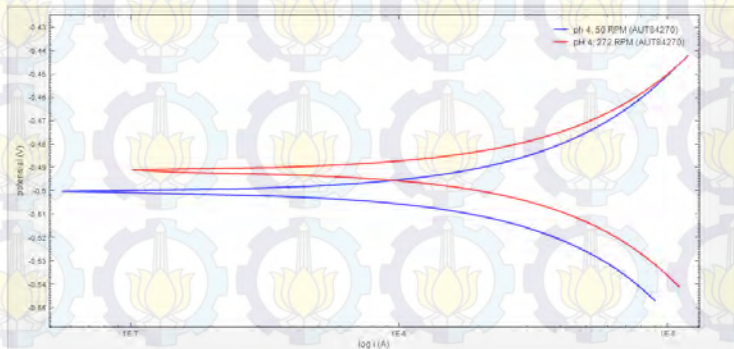
**Gambar 4. 5** Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Laju Korosi pada larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 6.

Gambar 4.5 menunjukkan tren laju korosi pada pH 6 meningkat, laju korosi paling tinggi pada 272 rpm dengan nilai sebesar 0,0804 mm/y dan laju korosi paling rendah pada 0 rpm yaitu sebesar 0,0388 mm/y. Laju korosi pada pH 6 memiliki tren yang sama dengan pH 4;4,5;5 karena laju korosi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan putar. Peningkatan laju korosi korosi pada pH 6 cenderung linear dan tidak ada peningkatan yang tampak drastis.



### IV.1.3. Hasil Pengujian Tafel

Pengujian tafel ini menggunakan variabel pH dan kecepatan putar, pH yang digunakan yaitu pH 4 dan 6, untuk kecepatan putar menggunakan kecepatan putar sebesar 50 rpm dan 272 rpm. Sebelum melakukan pengujian tafel ini spesimen diberi *treatment* pencelupan dan diputar selama satu jam, kemudian dilakukan pengujian tafel. Dari pengujian tafel didapatkan data berupa hasil analisa polarisasi linier. Data tersebut berupa grafik, kemudian ditarik garis dari dua titik belok grafik tersebut, kemudian didapatkan titik potong garis tersebut yang menghasilkan data berupa laju korosi.



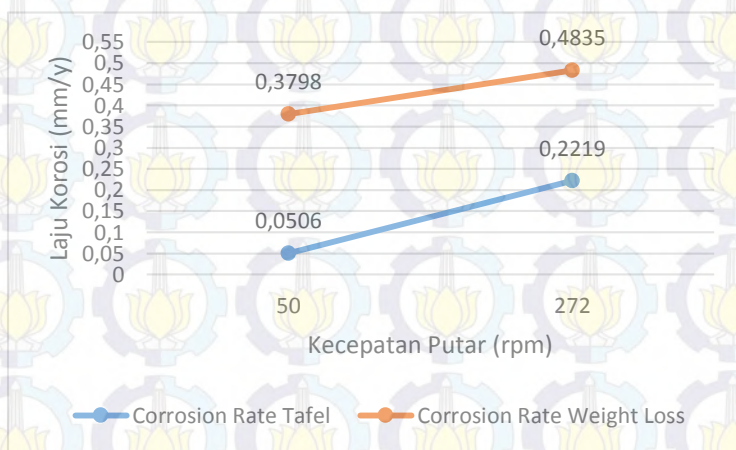
**Gambar 4. 6** Kurva Polarisasi E *versus* Log I Baja St 42 pada pH 4

**Tabel 4.2** Data Hasil Pengujian Tafel pH 4

pH	Kecepatan putaran (rpm)	-E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> (μA/cm <sup>2</sup> )	Laju korosi (mm/y)
4	50	500,430	4,3560	0,0506
	272	491,760	19,1040	0,2220



Dari gambar 4.6 diketahui bahwa pada pH 4 dengan meningkatnya kecepatan putar membuat kurva bergeser ke atas, terlihat kurva pada kecepatan putar 272 rpm memiliki kurva tafel di atas kurva tafel pada kecepatan putar 50 rpm, artinya dengan bertambahnya kecepatan membuat reaksi elektrokimia bersifat anodik, pada reaksi anodik laju korosi bergantung pada spesimen, artinya pembentukan  $\text{Fe}^{2+}$  semakin cepat. Karena cepatnya pembentukan  $\text{Fe}^{2+}$  ini meningkatkan laju pembentukan produk korosi. Kurva tafel tersebut dapat menghasilkan  $I_{\text{corr}}$  dengan menggunakan *software* Nova, didapatkan  $I_{\text{corr}}$  pada kecepatan putar 50 rpm sebesar  $4,3560 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  dan untuk 272 rpm sebesar  $19,1040 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , semakin besar kecepatan putar membuat  $I_{\text{corr}}$  semakin besar dan membuat laju korosi juga semakin besar seperti yang terlihat pada tabel 4.2.



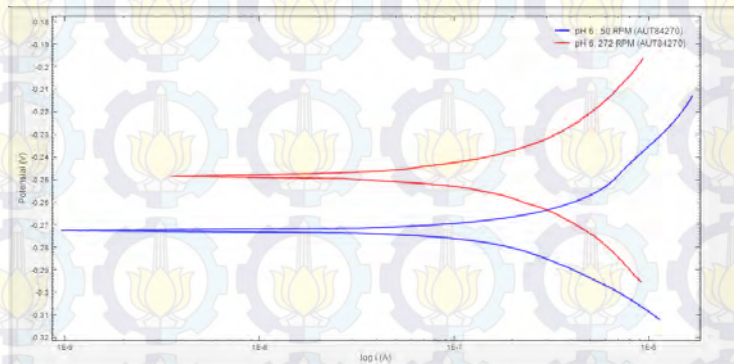
**Gambar 4. 7** Grafik Perbandingan Laju Korosi dari Hasil Pengujian Tafel dan *weight loss* pH 4.

Dari Gambar 4.7 didapatkan laju korosi material baja St 42 pada lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan pH 4 pada 50 rpm sebesar  $0,0506 \text{ mm/y}$  dan pada 272 rpm sebesar  $0,2220 \text{ mm/y}$ .





Hasil laju korosi yang didapatkan dari pengujian tafel ini memiliki tren yang sama pada pengujian *weight loss* pada pH 4 dengan kecepatan putar 50 rpm dan 272 rpm, tren pada pH 4 ini laju korosi meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan putar. Laju korosi dengan metode *weight loss* dibandingkan dengan laju korosi dengan metode tafel mengalami penurunan karena waktu celup dan putar metode



*weight loss* lebih lama dibandingkan waktu celup dan putar dengan metode tafel.

**Gambar 4. 8** Kurva Polarisasi E versus Log I Baja St 42 pada pH 6.

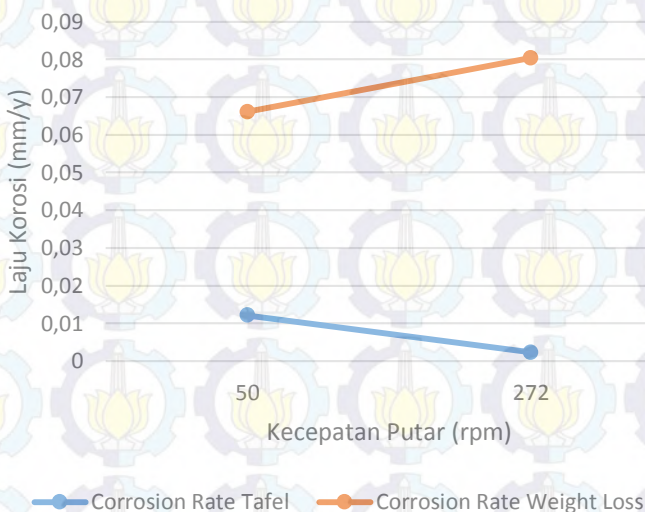
**Tabel 4.3** Data Hasil Pengujian Tafel pH 6

pH	Kecepatan putaran (rpm)	-E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> (μA/cm <sup>2</sup> )	Laju korosi (mm/y)
6	50	273,800	1,0417	0,0121
	272	248,180	0,1979	0,0023





Dari gambar 4.8 diketahui bahwa pada pH 6 dengan meningkatnya kecepatan putar membuat kurva bergeser ke atas, terlihat kurva pada kecepatan putar 272 rpm memiliki kurva tafel di atas kurva tafel pada kecepatan putar 50 rpm, artinya dengan bertambahnya kecepatan membuat reaksi elektrokimia bersifat anodik, pada reaksi anodik laju korosi bergantung pada spesimen, artinya pembentukan  $\text{Fe}^{2+}$  semakin cepat. Karena cepatnya pembentukan  $\text{Fe}^{2+}$  ini meningkatkan laju pembentukan produk korosi. Kurva tafel tersebut dapat menghasilkan  $I_{\text{corr}}$  dengan menggunakan *software* Nova, didapatkan  $I_{\text{corr}}$  pada kecepatan putar 50 rpm sebesar  $1,0417 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  dan untuk 272 rpm sebesar  $0,1979 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , semakin besar kecepatan putar membuat  $I_{\text{corr}}$  semakin menurun dan membuat laju korosi juga semakin kecil seperti yang terlihat pada tabel 4.3.



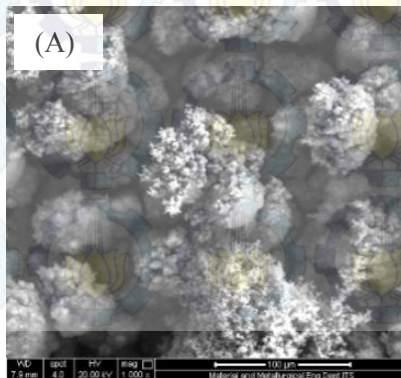
**Gambar 4. 9** Grafik Perbandingan Laju korosi dari Hasil Pengujian Tafel dan *weight loss* pH 6.

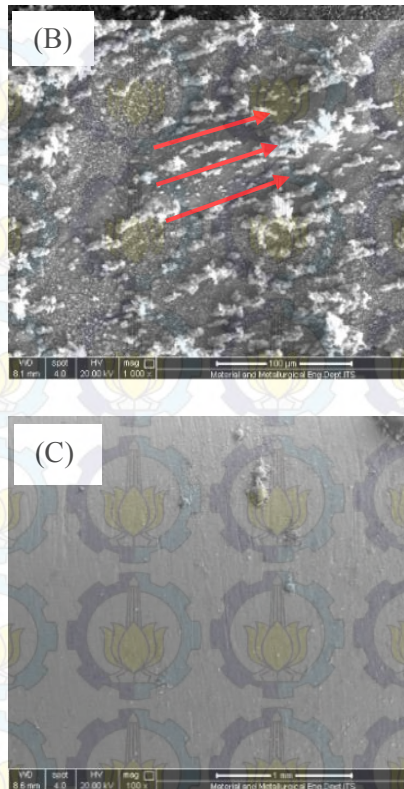


Dari Gambar 4.9 didapatkan laju korosi material baja St 42 pada lingkungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan pH 6 pada rpm 50 sebesar 0,0121 mm/y dan pada 272 rpm sebesar 0,0023 mm/y. Hasil laju korosi yang didapatkan dari pengujian tafel ini memiliki tren yang berbeda pada pengujian *weight loss*, pada pengujian *weight loss* nilai laju korosi dengan kecepatan putar 272 rpm lebih besar dibandingkan nilai laju korosi pada 50 rpm, sedangkan pada pengujian tafel nilai laju korosi dengan kecepatan putar 272 rpm lebih rendah dibandingkan nilai laju korosi pada 50 rpm. Nilai laju korosi dengan metode *weight loss* dibandingkan dengan laju korosi dengan metode tafel mengalami penurunan karena waktu celup dan putar metode *weight loss* lebih lama dibandingkan waktu celup dan putar dengan metode tafel.

#### IV.1.4. Hasil Pengujian SEM

Pengujian SEM merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan spesimen. Pada pengujian SEM ini spesimen yang digunakan yaitu baja St 47 yang telah mengalami perlakuan *rotating cylinder electrodes* selama 10 hari pada elektrolit  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4 dan pH 6. Untuk pH 4 dengan kecepatan putar 0 rpm dan 272 rpm, untuk pH 6 dengan kecepatan putar 272 rpm.





**Gambar 4. 10** Gambar Pengujian SEM (A) pH 4; 0 rpm; 1000X , (B) pH 4; 272 rpm; 1000X, (C) pH 6; 272 rpm; 100X.

Gambar 4.10 menunjukkan morfologi permukaan spesimen setelah dicelupkan pada larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan kecepatan putar 0 rpm dan 272 rpm selama 10 hari. Pada gambar (A) menunjukkan produk korosi pada pH 4 dengan kecepatan putar 0 rpm, produk korosi (A) tampak menumpuk dengan jumlah yang banyak. Pada gambar (B) menunjukkan produk korosi pada pH 4 dengan kecepatan putar 272 rpm,

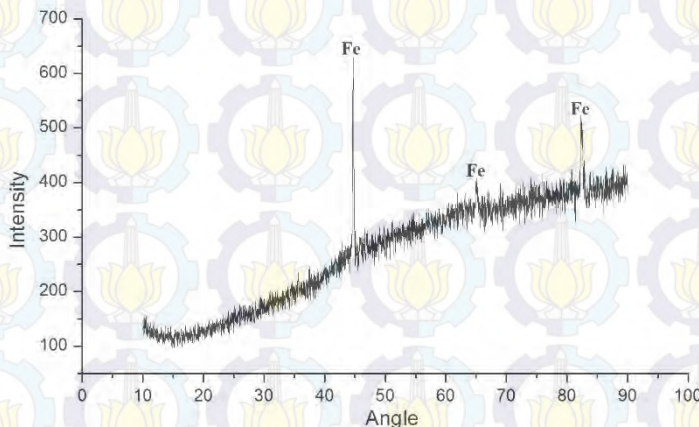




produk korosi pada (B) terlihat kecil ukurannya dan jumlah produk korosi sedikit akibat adanya pengaruh dari kecepatan putar sehingga produk korosi pada permukaan tergerus dan lepas dari permukaan baja, pengaruh putaran ini juga tampak dengan adanya pola aliran yang ditunjukkan dengan panah berwarna merah, pola aliran tersebut disebabkan oleh adanya gerusan,. Pada gambar (C) menunjukkan produk korosi pada pH 6 dengan kecepatan putar 272 rpm, produk korosi pada (C) sangat sedikit sekali, hal ini disebabkan karena laju korosi pada pH 6 dengan kecepatan putar 272 rpm kecil seperti pada tabel 4.1.

#### IV.1.5. Hasil Pengujian XRD

Pada pengujian XRD digunakan material baja St 42 yang telah mengalami proses pencelupan dan putaran selama 10 hari dengan kecepatan putar 272 rpm pada media elektrolit  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4. Hasil pengujian XRD berupa grafik yang didapatkan dari *software High Score* seperti pada gambar di bawah.



**Gambar 4.11** Hasil Pengujian XRD Baja St 42 pada larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4 dengan kecepatan putar 272 rpm.



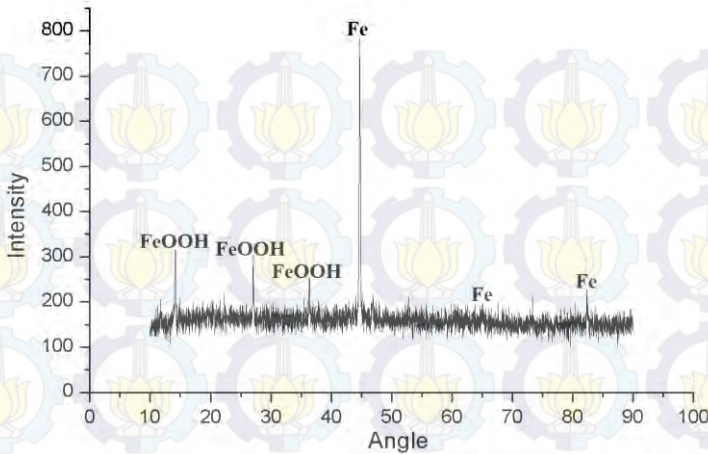
**Tabel 4.4** Hasil Analisa *peak* pada pengujian XRD Baja St 42 pada  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4 dengan kecepatan putar 272 rpm.

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
44.6737	349.52	0.0836	2.02851	100.00
64.9832	40.80	0.2342	1.43517	11.67
82.2716	115.15	0.1338	1.17191	32.94

Tabel 4.4 menunjukkan *peak* yang dihasilkan pada pengujian XRD terletak pada 2 theta 44,6737; 64,9832; 82,2716. Posisi *peak* tersebut adalah posisi *peak* pada unsur Fe, intensitas tertinggi pada analisa XRD adalah Fe yang merupakan unsur utama pembentuk baja St 42. Pada analisa XRD tidak tampak hasil produk korosi karena intensitasnya kecil, hal tersebut juga ditunjang dari pengamatan SEM pada gambar 4. 10 (B) tampak produk korosi sangat sedikit karena tergerus oleh aliran.

Pada pengujian XRD menggunakan spesimen baja St 42 yang telah mengalami proses pencelupan dan putaran selama 10 hari dengan kecepatan putar 0 rpm pada media elektrolit  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4. Hasil pengujian XRD berupa grafik yang didapatkan dari *software High Score* seperti pada gambar di bawah.





**Gambar 4.12** Hasil Pengujian XRD Baja St 42 pada larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4 dengan kecepatan putar 0 rpm.

**Tabel 4.5** Hasil Analisa *peak* pada pengujian XRD Baja St 42 pada  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4 dengan kecepatan putar 0 rpm.

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.1725	159.69	0.0836	6.24934	26.40
27.0573	142.44	0.1171	3.29557	23.54
36.3557	77.33	0.1338	2.47121	12.78
44.6774	604.98	0.1004	2.02835	100.00
46.8312	38.99	0.2676	1.93996	6.44



---

64.9832	26.42	0.2676	1.43517	4.37
82.3215	44.71	0.2676	1.17133	7.39

---

Tabel 4.5 menunjukkan beberapa *peak* yang dihasilkan pada pengujian XRD diantaranya terletak pada 2  $\theta$  pada 44,6774; 64,9832; 82,3215. Posisi *peak* tersebut adalah posisi *peak* pada unsur Fe, intensitas tertinggi pada analisa XRD adalah Fe yang merupakan unsur utama pembentuk baja St 42, selain itu terdapat *peak* lain pada posisi 2  $\theta$  pada 14.1725; 27,0573; 36,3557. Posisi *peak* tersebut menunjukkan adanya senyawa FeOOH yang merupakan produk korosi yang terkandung pada permukaan spesimen.

#### IV.2. Pembahasan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan menggunakan metode *weight loss* dengan variabel pH sebesar 4; 4,5; 5; dan 6, untuk variabel kecepatan putar sebesar 0 rpm, 50 rpm, dan 272 rpm. Pada penelitian ini penurunan pH elektrolit  $\text{CH}_3\text{COOH}$  berpengaruh meningkatkan nilai laju korosi pada baja St 42. Pada peningkatan kecepatan putar membuat nilai laju korosi baja St 42 meningkat, hal tersebut ditunjukkan pada tabel 4.1.

Pada pengujian tafel menggunakan variabel pH 4 dan pH 6 dengan kecepatan putar 50 rpm dan 272 rpm. Pada peningkatan kecepatan putar untuk pH 4 maupun pH 6 membuat kurva tafel bergeser ke atas seperti pada gambar 4.6 dan gambar 4.8, sehingga reaksi elektrokimia menjadi anodik dan laju korosi bergantung pada spesimen, artinya pembentukan  $\text{Fe}^{2+}$  semakin cepat. Karena cepatnya pembentukan  $\text{Fe}^{2+}$  ini meningkatkan laju pembentukan produk korosi.

Hasil dari pengujian *weight loss* dan tafel menunjukkan kenaikan laju korosi. Dari hasil XRD didapat bahwa produk korosi yang ditemukan adalah FeOOH.

---



Senyawa FeOOH ini terbentuk akibat reaksi dari Fe dengan ion hidroksil yang berasal dari H<sub>2</sub>O pada larutan. Reaksi terbentuknya FeOOH sebagai berikut :



Pada kecepatan putar yang tinggi diduga senyawa FeOOH terlepas dari permukaan spesimen, sehingga Fe kembali bereaksi dengan ion hidroksil dari H<sub>2</sub>O dan kembali membentuk FeOOH. Mekanisme tersebut terjadi secara berulang-ulang dan menyebabkan laju korosi semakin meningkat pada kecepatan putar tinggi.

Hasil berlainan didapatkan pada pH 6 dengan kecepatan 50 rpm menuju 272 rpm pada pengujian tafel, nilai laju korosi yang didapatkan menurun. Pada pH 6 tentu tingkat keasaman lebih rendah bahkan mendekati netral, ketika tingkat keasamaan lebih rendah terjadilah fenomena *concentration polarization*, fenomena tersebut terjadi pada konsentrasi asam terlarut dengan jumlah kecil. Pada kondisi laju reduksi yang sangat tinggi, ion hidrogen yang berdekatan dengan permukaan elektrode semakin habis.(fontana, 1987) kondisi tersebut diindikasi terjadi pada kecepatan putar tinggi, kecepatan putar tersebut membuat ion hidrogen berhamburan dan jumlah ion hidrogen yang ada di daerah permukaan baja jumlahnya sedikit, sehingga tidak membuat laju korosi pada kecepatan tersebut meningkat.

Hasil pengujian SEM menggunakan variabel pH dan kecepatan putar, untuk pH 4 dengan kecepatan putar 0 rpm dan 272 rpm, untuk pH 6 dengan kecepatan putar 272 rpm, dapat dilihat pada gambar 4.10 (A) menunjukkan produksi korosi berupa senyawa FeOOH yang menumpuk karena tidak ada pengaruh dari kecepatan putar yang mengakibatkan adanya gaya gesek, sedangkan pada (B) memperlihatkan produk korosi yang lebih sedikit karena adanya pengaruh kecepatan putar yang membuat transfer massa meningkat (Gabe Dkk, 1997),





sehingga produk korosi larut di larutan. Pada gambar (C) tampak produk korosi sangat sedikit sekali, karena pada pH 6 memiliki nilai laju korosi yang paling rendah, hal tersebut ditunjang data pada tabel 4.1 yang menunjukkan laju korosi pH 6 lebih kecil dari laju korosi di pH lainnya, sehingga produk korosi yang dihasilkan sedikit.

Pada hasil analisa XRD menggunakan spesimen yang telah dicelup dan diputar selama 10 hari pada  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4 dengan kecepatan putar 272 rpm, menunjukkan *peak* yang terdeteksi unsur Fe saja yang merupakan unsur utama pembentuk baja St 42 dan tidak terdeteksi senyawa produk korosi, hal tersebut terjadi karena pada kecepatan tinggi produk korosi Fe terlepas dari baja akibat adanya putaran yang tinggi, kecepatan putara memiliki efek gaya gesek seperti pada penelitian Dugstad pada tahun 2006 yang menyebutkan bahwa akibat adanya kecepatan menimbulkan gaya gesek. Gaya gesek yang timbul ini menyebabkan tergerusnya produk korosi, sehingga produk korosi terlepas dari permukaan baja seperti bentuk permukaan yang tampak pada pengamatan SEM gambar 4.10 (B) yang menunjukkan adanya gerusan pada permukaan baja. Berbeda pada hasil analisa XRD menggunakan spesimen yang telah dicelup dan diputar selama 10 hari pada  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4 dengan kecepatan putar 0 rpm, menunjukkan *peak* yang terdeteksi yaitu unsur Fe dan senyawa  $\text{FeOOH}$ . Unsur Fe yang terdeteksi merupakan unsur utama pembentuk baja St 42, sedangkan senyawa  $\text{FeOOH}$  yang terdeteksi pada permukaan baja merupakan produk korosi yang dihasilkan. Pembentukan senyawa  $\text{FeOOH}$  terjadi seperti pada reaksi 4.1. Senyawa  $\text{FeOOH}$  ini merupakan produk korosi yang dihasilkan dari korosi material baja St 42, senyawa  $\text{FeOOH}$  merupakan produk korosi utama dari besi dan baja (Volkan C dan Bayan A, 2011).





*(HALAMN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Peningkatan kecepatan putar dan penurunan pH meningkatkan nilai laju korosi pada baja karbon rendah. Semakin asam larutan, laju korosi meningkat. Pada kecepatan putar 0 rpm, 50 rpm, 272 rpm laju korosi mengalami peningkatan.
2. Kecepatan putar dan pH dapat mengubah morfologi permukaan baja karbon rendah dengan jumlah produk korosi yang dibentuk, semakin rendah pH maka semakin banyak produk korosi yang terbentuk, dan semakin tinggi kecepatan putar membuat produk korosi tergerus dan membentuk profil aliran pada permukaan baja.

#### **V.2 Saran**

Adapun saran untuk penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu ditambahkan variabel kecepatan putar yang lebih tinggi lagi.
2. Perlu ditambahkan variabel hari agar bisa melihat tren korosi dengan beberapa faktor waktu.



*(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)*

## LAMPIRAN

### Skema Kerja

#### 1. Pembuatan Elektroda Kerja

Baja St 42

- Potong spesimen dengan dimensi diameter 10 mm dan tebal 10 mm.
- Amplas spesimen dengan kertas amplas mulai grade 120, 240, 400, hingga grade 1000.

Elektroda Kerja

#### 2. Pembuatan Spesimen Weight Loss

Baja St 42

- Potong spesimen dengan dimensi diameter 10 mm dan tebal 10 mm dengan jumlah 36 spesimen.
- Amplas spesimen dengan kertas amplas mulai grade 120, 240, 400, hingga grade 1000.
- Timbang spesimen untuk mengetahui berat awal spesimen.
- Ukur dimensi spesimen dengan menggunakan jangka sorong.
- Pasang spesimen pada poros RCE dengan posisi 3 susun spesimen yang dibatasi teflon disetiap spesimen.

Spesimen siap  
diuji *weight loss*



### 3. Pembuatan Media Elektrolit

Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4

Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 2,2

- Menuangkan aquades ke dalam ember sebanyak 2 Liter.
- Meneteskan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1 molar kedalam aquades sebanyak 15,8 mL.
- Mengukur pH larutan

Larutan  
 $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4

Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 4,5

Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 2,2

- Menuangkan aquades ke dalam ember sebanyak 2 Liter.
- Meneteskan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1 molar kedalam aquades sebanyak 12,8 mL.
- Mengukur pH larutan

Larutan  
 $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH  
4,5

Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 5

Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 2,2

- Menuangkan aquades ke dalam ember sebanyak 2 Liter.
- Meneteskan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1 molar kedalam aquades sebanyak 9,8 tetes mL.
- Mengukur pH larutan

Larutan  
 $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 5

Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 6

Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 2,2

- Menuangkan aquades ke dalam ember sebanyak 2 Liter.
- Meneteskan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1 molar kedalam aquades sebanyak 3,8 mL.
- Mengukur pH larutan

Larutan  
 $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 6

#### 4. Metode Tafel

Bahan  
-Spesimen dan Media elektrolit

- Mencolokkan kabel monitor, CPU, Versastat 4
- Menyalakan CPU, monitor, versastat 4
- Memasang elektroda (elektrode kerja, elektrode bantu, elektrode acuan) pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam media korosi
- Menyalakan sterer untuk menghasilkan aliran pada wadah specimen
- Memasang kabel pada tiap electrode

A

A

Menjalankan  
software NOVA

- Menyalakan program versastat
- Memilih program Tafel sebagai program yang diinginkan
- Mengisi parameter pada kolom "*Properties for Tafel*" dan "*Properties for Common*"

- Memulai software NOVA 1.8 dengan mengklik *play*
- Setelah selesai menjalankan program versastat yang ditandai dengan tulisan "CELL OFF" pada kiri bawah, maka akan muncul grafik tafel
- Kemudian mengklik nilai ujung kiri pada grafik tafel yang dihasilkan. Nilai tersebut adalah *E<sub>corr</sub>*
- Setelah mengetahui nilai *E<sub>corr</sub>*, kemudian mengeblok  $\pm 100$  mV (sesuai dengan *Initial* dan *Final Potential* yang telah diisikan pada "**Properties for Tafel**" pada nilai *E<sub>corr</sub>* nya di *Data view*.
- Daerah tersebut adalah daerah dimana nantinya akan mendapat nilai *i<sub>corr</sub>* dan laju korosinya (CR)

Menghitung nilai  
 $E_{corr}$ ,  $I_{corr}$ , dan  
CR

## 5. Metode Uji Weight Loss

Bahan  
-Spesimen  
-Media Elektrolit

- Siapkan rangkaian RCE yang sudah terpasang 3 susun spesimen dengan dimensi diameter 10 mm dan tebal 10 mm.
- Siapkan toples sebagai tempat elektrolit.
- Masukkan asam asetat ke dalam toples.
- Rendam dan putar spesimen di dalam toples berisi larutan asam asetat.



Menunggu selama 5  
dan 10 hari

- Pengambilan gambar, pencucian menggunakan metode brushing sesuai standar ASTM G1 dan penimbangan.
- Lakukan langkah diatas untuk spesimen dengan kecepatan putar 0 rpm, 50 rpm, 272 rpm.

Mendapat Pengurangan  
Berat

### PERHITUNGAN *CORROSION RATE* METODE WEIGHT LOSS

- Perhitungan laju korosi pada pH 4 dengan kecepatan putar 0 rpm selama 10 hari

$$\text{Corrosion rate} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

Dimana :

K : Konstanta faktor

W : Selisih Berat (gram)

A : Luas area yang tercelup (cm<sup>2</sup>)

T : Waktu ekspos (jam)

D : Densitas spesimen uji (g/cm<sup>3</sup>)

$$\text{Corrosion rate} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

$$= \frac{8.75 \times 10^4 \times 0.0103}{2,9082 \times 240 \times 7.87}$$

$$= 0.1561 \text{ mm/y}$$

- Perhitungan laju korosi pada pH 4 dengan kecepatan putar 50 rpm selama 10 hari

$$\text{Corrosion rate} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

$$= \frac{8.75 \times 10^4 \times 0.0245}{2,9559 \times 240 \times 7.87}$$

$$= 0.3850 \text{ mm/y}$$

- Perhitungan laju korosi pada pH 4 dengan kecepatan putar 272 rpm selama 10 hari

$$\begin{aligned}\text{Corrosion rate} &= \frac{K \times W}{A \times T \times D} \\ &= \frac{8.75 \times 10^4 \times 0.0315}{2,9708 \times 240 \times 7.87} \\ &= 0.4925 \text{ mm/y}\end{aligned}$$

### PERHITUNGAN PERHITUNGAN *CORROSION RATE* METODE TAFEL

- Perhitungan laju korosi pada pH 4 dengan kecepatan putar 50 rpm

$$\text{Corrosion rate} = \frac{KI \times I_{\text{corr}} \times EW}{\rho}$$

Dimana :

KI : 3,27

$I_{\text{corr}}$  :

EW :

$\rho$  :

$$\begin{aligned}\text{Corrosion rate} &= \frac{KI \times I_{\text{corr}} \times EW}{\rho} \\ &= \frac{3.27 \times 10^{-3} \times 0.0315 \times 27,925}{7.87} \\ &= 0.0506 \text{ mm/y}\end{aligned}$$

- Perhitungan laju korosi pada pH 4 dengan kecepatan putar 272 rpm

$$\begin{aligned}\text{Corrosion rate} &= \frac{K I x I_{\text{corr}} x E W}{\rho} \\ &= \frac{3.27 \times 10^{-3} \times 19.1040 \times 27,925}{7,87} \\ &= 0.2220 \text{ mm/y}\end{aligned}$$

### PERHITUNGAN LAJU ALIRAN FLUIDA

Nilai *Reynold Number* menunjukkan karekteristik aliran fluida :

Re < 200 → Aliran Laminar  
 Re = 200 → Aliran Transisi  
 Re > 200 → Aliran Turbulen

Untuk mendapatkan nilai *Reynold Number* harus mengkonversi kecepatan putar menjadi kecepatan linear, kemudian bisa dihitung Re :

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

Dimana : U = Kecepatan Linear (cm/s<sup>2</sup>)  
 $\pi$  = 3,14  
 D = Diameter Spesimen (cm)  
 F = Kecepatan Putar (RPM)

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

Dimana : Re = *Reynold Number*  
 $\rho$  = Massa jenis (g/cm<sup>3</sup>)  
 U = Kecepatan Linear (m/s)  
 D = Diameter Spesimen (cm)



$\mu$  = Viskositas dinamik (g/cm.s)

Perhitungan *Reynold Number* pada 0 RPM :

- menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 0}{60}$$

$$U = 0$$

- menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{0 \times 1 \times 1,049}{0,00891}$$

$$Re = 0 \text{ (aliran statis)}$$

Perhitungan *Reynold Number* pada 0 RPM :

- menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 50}{60}$$

$$U = 2,6167 \text{ cm/s}$$

- menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{2,6167 \times 1 \times 1,049}{0,00891}$$

$$Re = 308,0176 \text{ (aliran turbulen)}$$

Perhitungan *Reynold Number* pada 0 RPM :

- menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 272}{60}$$

$$U = 14,2419 \text{ cm/s}$$

- menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{14,2419 \times 1 \times 1,049}{0,00891}$$

$$Re = 1676,74 \text{ (aliran turbulen)}$$

### PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN ELEKTROLIT CH<sub>3</sub>COOH

Pembuatan elektrolit dilakukan dengan mengencerkan asam asetat glacial dengan aquades. Asam asetat glacial yang digunakan memiliki kadar 99%.

$$\text{massa} = \frac{99}{100} \times 1.049 \times 1000$$

$$\text{massa} = 1038,51 \text{ gram}$$

$$\text{Molaritas} = \frac{1038,51}{60} \times \frac{1000}{1000} = 17.3085 \text{ M}$$

- Pengenceran

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$17,3085 \times V_1 = 1 \times 1000$$

$$V_1 = \frac{1000}{17.3085}$$

$$V_1 = 57,7751 \text{ mL (pH 2,2)}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1 \times V_1 = 0,01 \times 1000$$

$$V_2 = \frac{10}{1}$$

$$V_2 = 10 \text{ mL (pH 3,3)}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$0,01 \times V_1 = 0,0001 \times 1000$$

$$V_2 = \frac{0,1}{0,01}$$

$$V_2 = 10 \text{ mL (pH 4,3)}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10^{-4} \times V_1 = 10^{-7} \times 1000$$

$$V_2 = \frac{10^{-4}}{10^{-4}}$$

$$V_2 = 1 \text{ mL (pH 6,6)}$$

Dari data tersebut dapat dibuat tabel pengenceran dan pH yang dihasilkan sebagai berikut

No	Molaritas	pH
1.	1	2,2
2.	0,01	3,3
3.	0,0001	4,3
4.	$10^{-7}$	6,6

Dari tabel tersebut dapat dibuat persamaan interpolasi untuk menentukan molaritas pada pH tertentu sebagai berikut

$$\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{X - X_1}{X_2 - X_1}$$

$$\frac{Y - 0,01}{10^{-7} - 0,01} = \frac{X - 3,3}{6,6 - 3,3}$$

$$\frac{Y - 0,01}{-9,9 \times 10^{-3}} = \frac{X - 3,3}{3,3}$$

$$3,3 Y - 0,033 = -9,9 \times 10^{-3} X + 0,0327$$

$$3,3 Y = -9,9 \times 10^{-3} X + 0,0657$$

$$Y = -3 \times 10^{-3} X + 0,0199$$

Keterangan :

X adalah pH

Y adalah Molaritas



- Untuk membuat asam asetat pH 4 dibutuhkan molaritas sebesar :

$$Y = -3 \times 10^{-3}(4) + 0,0199$$

$$Y = 7,9 \times 10^{-3}$$

Pengenceran asam asetat 1 M untuk mendapatkan 2 liter asam asetat pH 4 maka dibutuhkan volume sebesar :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1 \times V_1 = 7,9 \times 10^{-3} \times 2000$$

$$V_2 = \frac{15,8}{1}$$

$$V_2 = 15,8 \text{ mL}$$

- Untuk membuat asam asetat pH 4,5 dibutuhkan molaritas sebesar :

$$Y = -3 \times 10^{-3}(4,5) + 0,0199$$

$$Y = 6,4 \times 10^{-3}$$

Pengenceran asam asetat 1 M untuk mendapatkan 2 liter asam asetat pH 4 maka dibutuhkan volume sebesar :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1 \times V_1 = 6,4 \times 10^{-3} \times 2000$$

$$V_2 = \frac{12,8}{1}$$

$$V_2 = 12,8 \text{ mL}$$

- Untuk membuat asam asetat pH 5 dibutuhkan molaritas sebesar :

$$Y = -3 \times 10^{-3}(5) + 0,0199$$

$$Y = 4,9 \times 10^{-3}$$

Pengenceran asam asetat 1 M untuk mendapatkan 2 liter asam asetat pH 5 maka dibutuhkan volume sebesar :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1 \times V_1 = 4,9 \times 10^{-3} \times 2000$$

$$V_2 = \frac{9,8}{1}$$

$$V_2 = 9,8 \text{ mL}$$

- Untuk membuat asam asetat pH 6 dibutuhkan molaritas sebesar :

$$Y = -3 \times 10^{-3}(6) + 0,0199$$

$$Y = 1,9 \times 10^{-3}$$

Pengenceran asam asetat 1 M untuk mendapatkan 2 liter asam asetat pH 6 maka dibutuhkan volume sebesar :

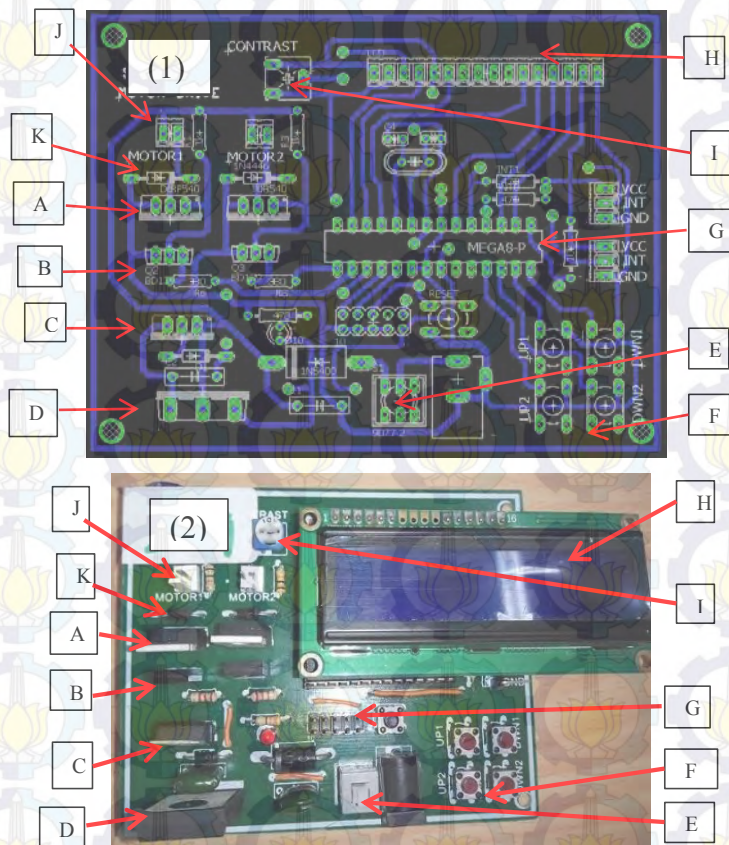
$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1 \times V_1 = 1,9 \times 10^{-3} \times 2000$$

$$V_2 = \frac{3,8}{1}$$

$$V_2 = 3,8 \text{ mL}$$

## PENJELASAN FUNGSI KOMPONEN *MICRO CONTROLLER*



Gambar (1) Skema *micro controller*, (2) Produk *micro controller*

Keterangan :

- A) Mosfet : Sebagai saklar otomatis penggerak motor DC
- B) BD139 : Memberikan pulsa PWM pada mosfet
- C) LM7805 : Regulator penurun tegangan 12Vdc ke 5VDC
- D) TIP3055 : Penguat arus ke rangkaian
- E) Saklar : Menghubungkan dan memutus arus listrik
- F) Push Button : Digunakan untuk mengatur kecepatan motor
- G) Atmega8 : Mikrokontroler/ sebagai pusat kendali sistem
- H) LCD : Untuk menampilkan nilai PWM
- I) Contrast : Untuk mengatur kecerahan LCD
- J) Motor : Konektor ke dinamo
- K) Dioda : Membatasi arus yang masuk

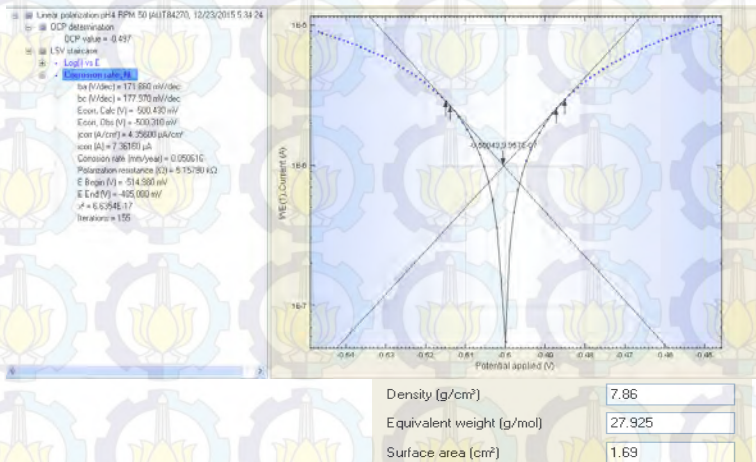


## HASIL ANALISA POLARISASI TAFEL

### Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : pH 4 RPM 50

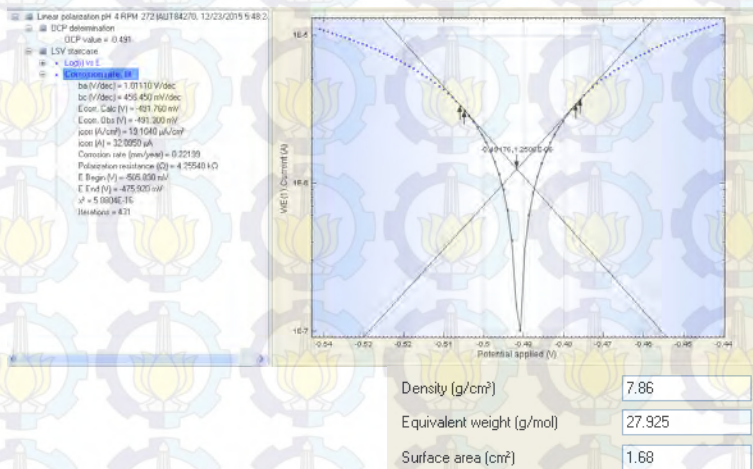
Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 4



**Gambar 1** Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat pH 4 dengan Kecepatan Putar 50 rpm

## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : pH 4 RPM 272  
 Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 4

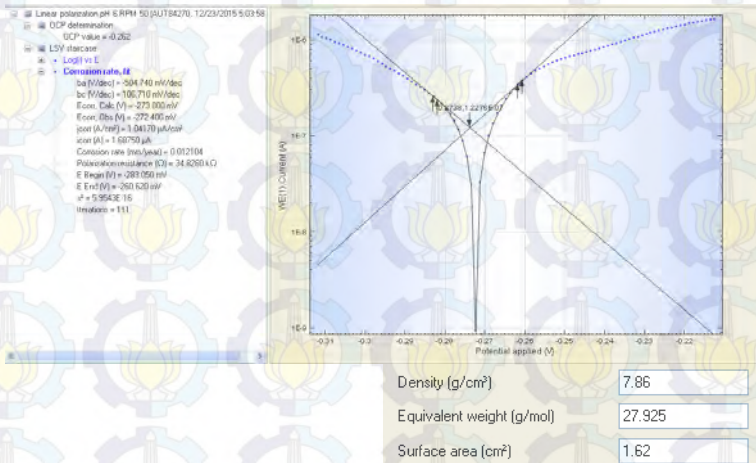


**Gambar 2** Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat pH 4 dengan Kecepatan Putar 272 rpm

## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : pH 6 RPM 50

Larutan elektrolit : Asam asetat pH = 6

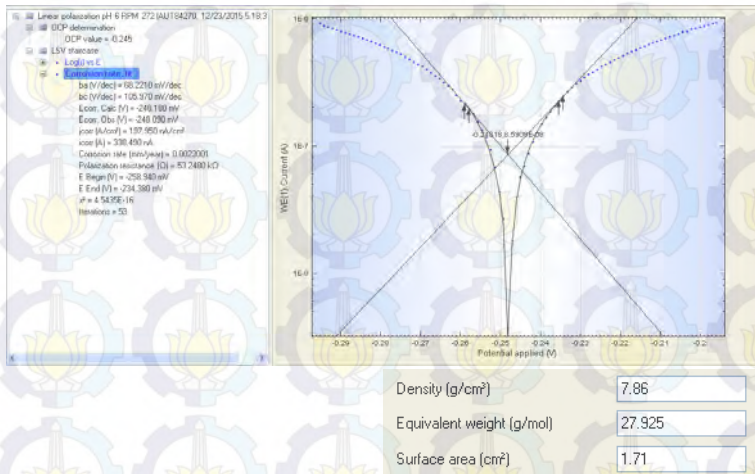


**Gambar 3** Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat pH 6 dengan Kecepatan Putar 50 rpm

## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : pH 6 RPM 272

Larutan elektrolit : Asam asetat pH 6



**Gambar 4** Hasil Uji Tafel pada Asam Asetat pH 6 dengan Kecepatan Putar 272 rpm



## HASIL PENGUJIAN XRD

- Pengujian spesimen pH 4; 272 rpm

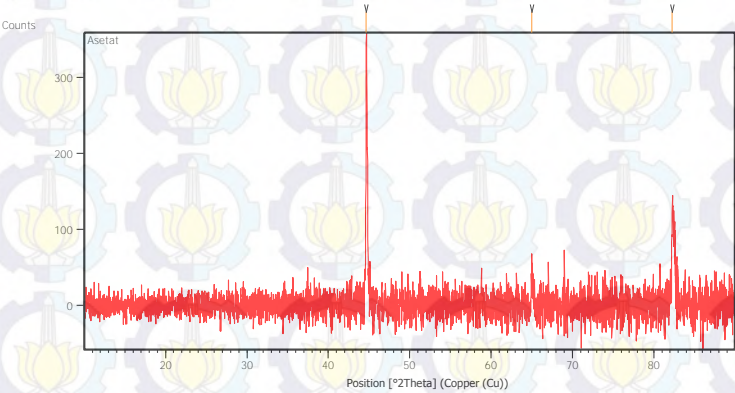
### **Measurement Conditions:** (Bookmark 1)

Dataset Name	Asetat
File name	E:\DATA
PENGUJIAN\Pengujian tahun 2015\Desember\29	
Des\Gilang\2\Asetat.rd	
Comment	Configuration=Reflection-
Transmission Sp	
	Goniometer=PW3050/60
(Theta/Theta); Mini	
Measurement Date / Time	12/31/2015 4:22:00 PM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	10.0084
End Position [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	89.9764
Step Size [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [ $^{\circ}$ ]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [ $\text{\AA}$ ]	1.54060
K-Alpha2 [ $\text{\AA}$ ]	1.54443

K-Beta [Å]  
K-A2 / K-A1 Ratio  
Generator Settings  
Diffractometer Type  
Diffractometer Number  
Goniometer Radius [mm]  
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]  
Incident Beam Monochromator  
Spinning

1.39225  
0.50000  
30 mA, 40 kV  
XPert MPD  
1  
200.00  
91.00  
No  
No

**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.6737	349.52	0.0836	2.02851	100.00
64.9832	40.80	0.2342	1.43517	11.67
82.2716	115.15	0.1338	1.17191	32.94

**Pattern List:** (Bookmark 4)**Document History:** (Bookmark 5)

## Insert Measurement:

- File name = Asetat.rd
- Modification time = "12/31/2015 4:26:06 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

## Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "12/31/2015 4:26:06 PM"
- Modification editor = "PANalytical"

## Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "10/21/2015 12:32:46 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

## Subtract Background:

- Add to net scan = "Nothing"
- User defined intensity = "-5"
- Correction method = "Peak search"
- Bending factor = "3"
- Minimum significance = "5"
- Minimum tip width = "0"
- Maximum tip width = "0.5"

- Peak base width = "2"
- Use smoothed input data = "Yes"
- Granularity = "20"
- Modification time = "9/3/2015 3:15:23 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"
- Pengujian spesimen pH4;0 rpm

**Measurement Conditions:** (Bookmark 1)

Dataset Name	Asetat
File name	E:\DATA
PENGUJIAN\Pengujian 2016\Januari\15 Jan\Gilang\Asetat.rd	
Comment	Configuration=Reflection-
Transmission Sp	
	Goniometer=PW3050/60
(Theta/Theta); Mini	
Measurement Date / Time	1/15/2016 3:50:00 PM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [ $^{\circ}$ 2Th.]	10.0114
End Position [ $^{\circ}$ 2Th.]	89.9794
Step Size [ $^{\circ}$ 2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	5.1000
Scan Type	Continuous
Offset [ $^{\circ}$ 2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [ $^{\circ}$ ]	1.0000
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [ $^{\circ}$ C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [ $\text{\AA}$ ]	1.54060
K-Alpha2 [ $\text{\AA}$ ]	1.54443
K-Beta [ $\text{\AA}$ ]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000



Generator Settings

30 mA, 40 kV

Diffractometer Type

XPert MPD

Diffractometer Number

1

Goniometer Radius [mm]

200.00

Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]

91.00

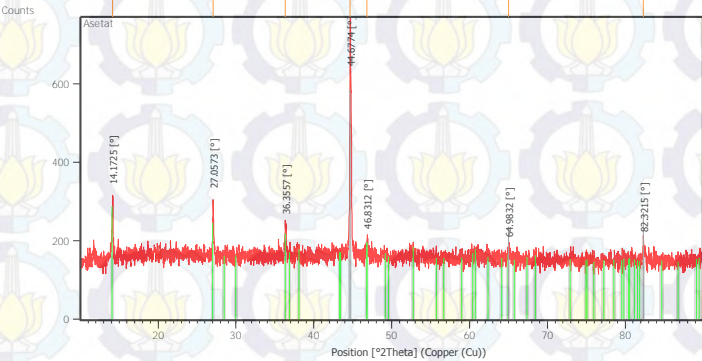
Incident Beam Monochromator

No

Spinning

Yes

**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.1725	159.69	0.0836	6.24934	26.40
27.0573	142.44	0.1171	3.29557	23.54
36.3557	77.33	0.1338	2.47121	12.78
44.6774	604.98	0.1004	2.02835	100.00
46.8312	38.99	0.2676	1.93996	6.44
64.9832	26.42	0.2676	1.43517	4.37
82.3215	44.71	0.2676	1.17133	7.39

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-074-1877	46	Iron Oxide Hydroxide	-0.063	0.174	Fe O ( O H )
*	00-006-0696	55	Iron	-0.048	0.537	Fe

**Document History:** (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = Astatat.rd
- Modification time = "1/15/2016 4:20:07 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "1/15/2016 4:20:07 PM"
- Modification editor = "PANalytical"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "1/6/2016 11:46:55 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

**Search & Match:**

- Allow pattern shift = "Yes"
- Auto residue = "Yes"
- Data source = "Peak list"
- Demote unmatched strong = "Yes"
- Multi phase = "Yes"
- Restriction set = "Default"
- Restriction = "None"
- Subset name = ""
- Match intensity = "Yes"
- Two theta shift = "0"
- Identify = "Yes"
- Max. no. of accepted patterns = "10"
- Minimum score = "10"
- Min. new lines / total lines = "60"
- Search depth = "10"
- Minimum new lines = "5"
- Minimum scale factor = "0.1"
- Intensity threshold = "0"
- Use line clustering = "Yes"
- Line cluster range = "1.5"
- Search sensitivity = "1.8"
- Use adaptive smoothing = "Yes"
- Smoothing range = "1.5"
- Threshold factor = "3"
- Modification time = "1/15/2016 4:20:38 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

**Search & Match:**

- Allow pattern shift = "Yes"
- Auto residue = "Yes"
- Data source = "Peak list"
- Demote unmatched strong = "Yes"
- Multi phase = "Yes"
- Restriction set = "Untitled"

- Restriction = "Restriction set"
- Subset name = ""
- Match intensity = "Yes"
- Two theta shift = "0"
- Identify = "Yes"
- Max. no. of accepted patterns = "10"
- Minimum score = "10"
- Min. new lines / total lines = "60"
- Search depth = "10"
- Minimum new lines = "5"
- Minimum scale factor = "0.1"
- Intensity threshold = "0"
- Use line clustering = "Yes"
- Line cluster range = "1.5"
- Search sensitivity = "1.8"
- Use adaptive smoothing = "Yes"
- Smoothing range = "1.5"
- Threshold factor = "3"
- Modification time = "1/15/2016 4:24:14 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"



-Data JCPF Fe

**Name and formula**

Reference code:	01-089-7194
Mineral name:	Iron, syn
Compound name:	Iron
Empirical formula:	Fe
Chemical formula:	Fe

**Crystallographic parameters**

Crystal system:	Cubic
Space group:	Im-3m
Space group number:	229
a (Å):	2.8664
b (Å):	2.8664
c (Å):	2.8664
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ):	23.55
Z:	2.00
RIR:	10.77

**Status, subfiles and quality**

Status:	Alternate Pattern
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic

**Common Phase**

Forensic

ICSD Pattern

Inorganic

Mineral

Indexed (I)

Quality:

**Comments**

ANX:

N

Creation Date:

11/20/2008

Modification Date:

1/19/2011

ANX:

N

Analysis:

Fe1

Formula from original source:

Fe

ICSD Collection Code:

76747

Calculated Pattern Original Remarks: Stable below 1185 K

(2nd ref., Tomaszewski),

1185-1667 K: Fm3-m, m.p.

1811 K. Cell at 427 K:

2.8707, at 533 K: 2.8743, at

639 K: 2.8790. Temperature

of Data Collection: 293 K.

Minor Warning: No R

factors reported/abstracted.

Wyckoff Sequence: a(IM3-

M). Unit Cell Data Source:

Single Crystal.

**References**

Primary reference:

Kochanovska, A., *Golden Book of Phase Transitions*, Wroclaw, 1, 1, (2002)

Structure:

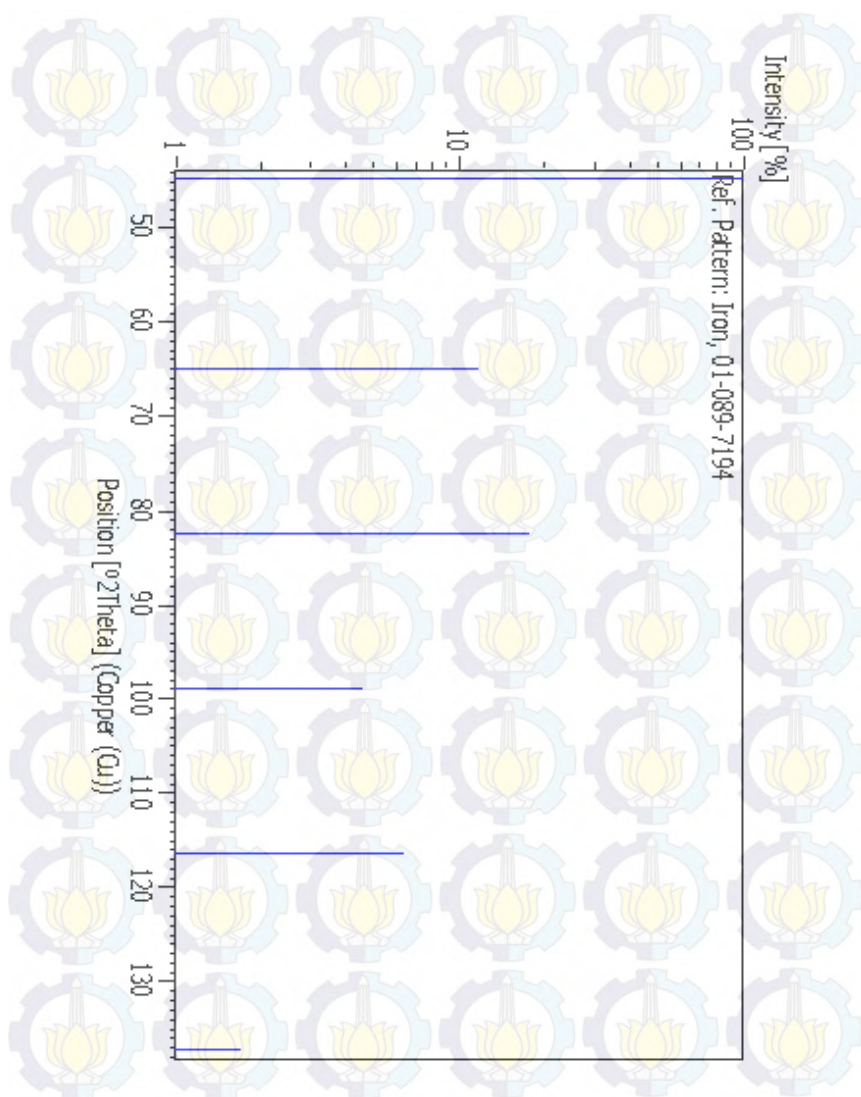
Kochanovska, A., *Phys.*,

*Neder. Tijd. Natuur. (The Hague)*, **15**, 191, (1949)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.02680	44.674	100.0
2	2	0	0	1.43320	65.023	11.7
3	2	1	1	1.17020	82.335	17.7
4	2	2	0	1.01340	98.949	4.6
5	3	1	0	0.90640	116.390	6.4
6	2	2	2	0.82750	137.144	1.7

### Stick Pattern





- Data JCPDF FeOOH

**Name and formula**

Reference code:	01-076-2301
Mineral name:	Lepidocrocite
Compound name:	Iron Oxide Hydroxide
Empirical formula:	FeHO <sub>2</sub>
Chemical formula:	FeOOH

**Crystallographic parameters**

Crystal system:	Orthorhombic
Space group:	Amam
Space group number:	63
a (Å):	3.8780
b (Å):	12.4300
c (Å):	3.0660
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	147.79
Z:	4.00
RIR:	4.91

**Status, subfiles and quality**

Status:	Alternate Pattern
Subfiles:	Common Phase

Forensic  
ICSD Pattern  
Inorganic  
Mineral  
Indexed (I)

Quality:

### Comments

ANX:

AX2

Creation Date:

11/20/2008

Modification Date:

1/19/2011

ANX:

AX2

Analysis:

H1 Fe1 O2

Formula from original source:

Fe O (O H)

ICSD Collection Code:

37159

Calculated Pattern Original Remarks:

b too short, cf. 27846

Minor Warning:

Density calculated using chemical formula and refined composition differ by 1.0273%. No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension. No R factors reported/abstracted c3(AMAM) Single Crystal.

Wyckoff Sequence:

Unit Cell Data Source:

### References

Primary reference:

*Calculated from ICSD using POWD-12++*

Structure:

Goldsztaub, M.S., *Bull. Soc. Fran. Mineral.*, **58**, 6, (1935)

**Peak list**

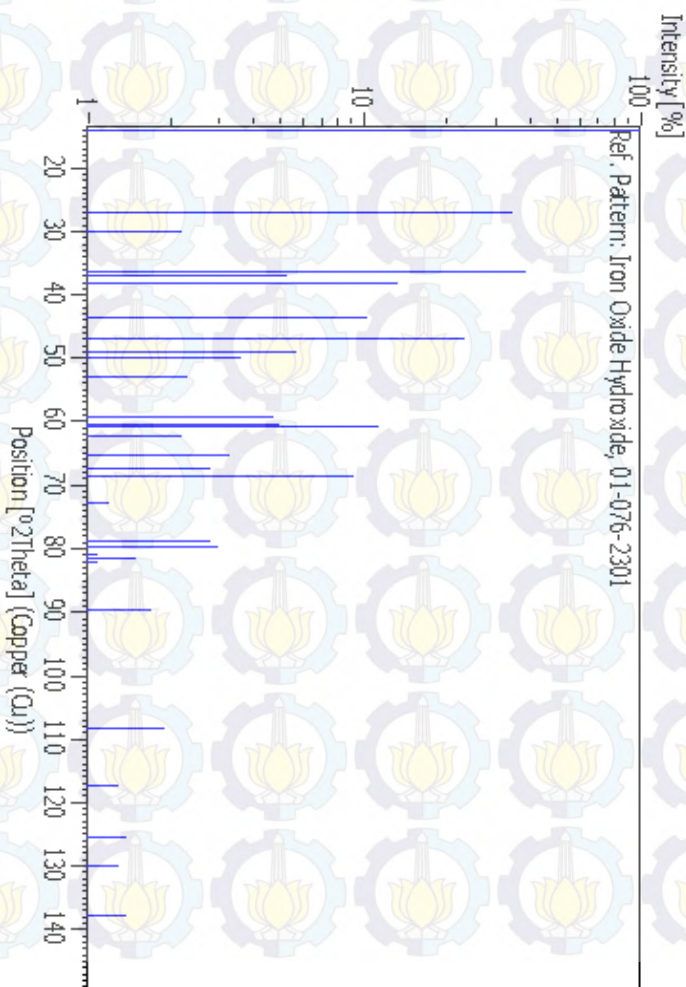
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	6.21500	14.239	100.0
2	1	2	0	3.29000	27.081	34.4
3	0	4	0	3.10750	28.705	0.1
4	0	1	1	2.97680	29.994	2.2
5	0	3	1	2.46460	36.425	38.8
6	1	4	0	2.42500	37.042	5.3
7	1	1	1	2.36130	38.079	13.3
8	1	3	1	2.08010	43.471	10.3
9	0	6	0	2.07170	43.656	2.5
10	2	0	0	1.93900	46.815	14.2
11	0	5	1	1.93100	47.020	23.1
12	2	2	0	1.85100	49.184	5.7
13	1	6	0	1.82730	49.865	3.6
14	1	5	1	1.72860	52.926	2.3
15	2	4	0	1.64500	55.844	0.1
16	2	1	1	1.62470	56.604	0.6
17	0	8	0	1.55380	59.439	4.7
18	0	7	1	1.53660	60.172	0.9
19	0	0	2	1.53300	60.328	5.0
20	2	3	1	1.52390	60.726	11.3
21	0	2	2	1.48840	62.334	2.2
22	1	8	0	1.44230	64.563	0.2
23	1	7	1	1.42860	65.258	3.3
24	2	6	0	1.41570	65.928	1.0
25	1	2	2	1.38960	67.329	2.8
26	2	5	1	1.36820	68.527	9.3
27	1	4	2	1.29580	72.948	1.2
28	3	2	0	1.26560	74.983	0.9
29	0	9	1	1.25920	75.431	0.1
30	0	10	0	1.24300	76.590	0.8
31	0	6	2	1.23230	77.378	0.5

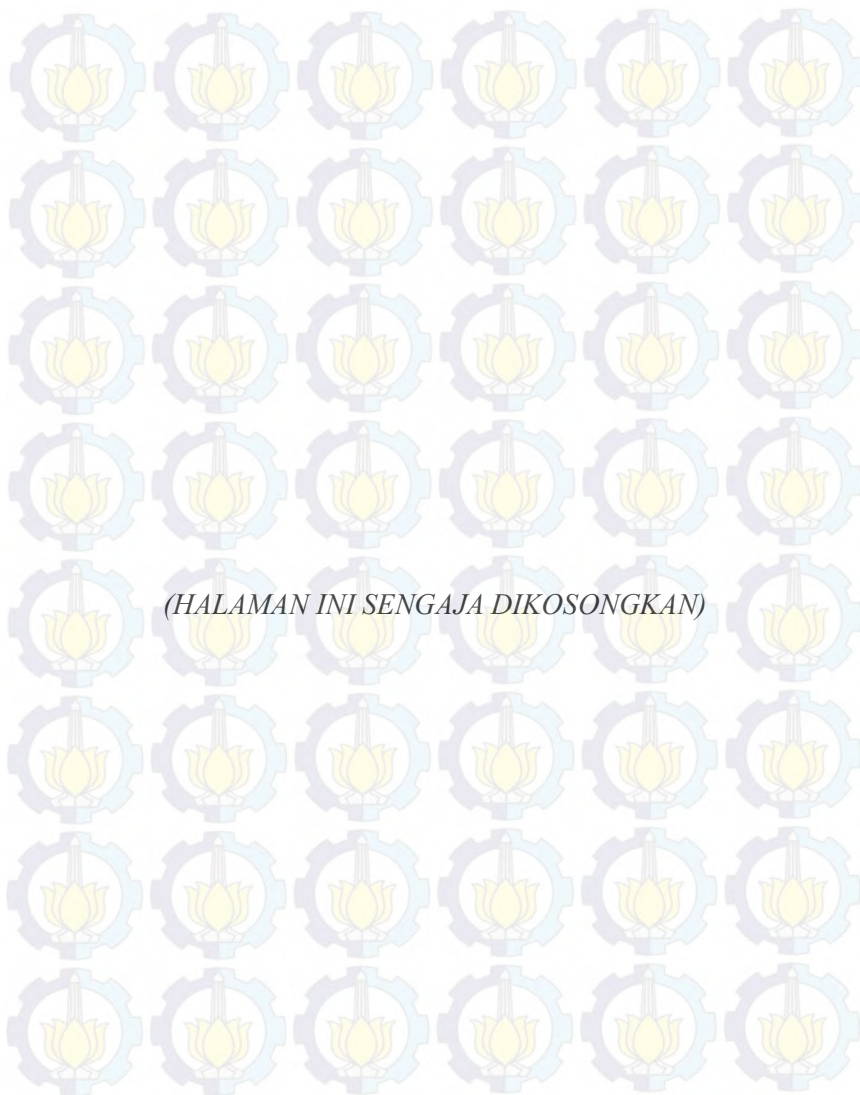
32	2	8	0	1.21250	78.884	2.8
33	2	0	2	1.20260	79.663	3.0
34	1	9	1	1.19770	80.054	0.9
35	3	4	0	1.19350	80.393	0.5
36	3	1	1	1.18570	81.032	1.1
37	1	10	0	1.18370	81.197	0.7
38	2	2	2	1.18070	81.447	1.5
39	1	6	2	1.17440	81.977	1.1
40	3	3	1	1.14480	84.578	0.7
41	2	4	2	1.12150	86.762	0.1
42	3	6	0	1.09670	89.237	0.4
43	0	8	2	1.09130	89.797	1.7
44	3	5	1	1.07420	91.630	0.2
45	0	11	1	1.06030	93.186	0.6
46	2	9	1	1.05610	93.669	0.1
47	1	8	2	1.05050	94.322	0.1
48	2	10	0	1.04640	94.808	0.7
49	2	6	2	1.04000	95.578	0.5
50	1	11	1	1.02270	97.737	0.5
51	0	1	3	1.01860	98.267	0.1
52	1	12	0	1.00080	100.651	0.3
53	0	3	3	0.99230	101.842	0.7
54	3	7	1	0.98920	102.285	0.6
55	1	1	3	0.98510	102.879	0.5
56	3	2	2	0.97600	104.229	0.6
57	4	0	0	0.96950	105.222	0.6
58	0	10	2	0.96550	105.846	0.5
59	1	3	3	0.96130	106.511	0.3
60	4	2	0	0.95790	107.057	0.3
61	2	8	2	0.95100	108.190	1.9
62	0	5	3	0.94520	109.167	0.9
63	3	4	2	0.94180	109.751	0.4
64	1	10	2	0.93690	110.607	0.4
65	2	11	1	0.93030	111.790	0.8
66	4	1	1	0.92180	113.367	0.1



67	1	5	3	0.91840	114.015	0.1
68	0	13	1	0.91280	115.106	0.9
69	2	1	3	0.90220	117.255	1.3
70	4	3	1	0.90220	117.255	1.3
71	3	10	0	0.89600	118.568	0.2
72	3	6	2	0.89190	119.461	0.4
73	0	14	0	0.88790	120.351	0.1
74	0	7	3	0.88580	120.827	0.1
75	2	3	3	0.88330	121.400	1.0
76	4	6	0	0.87810	122.621	0.1
77	4	5	1	0.86640	125.516	1.4
78	1	14	0	0.86550	125.748	0.3
79	2	10	2	0.86430	126.059	0.8
80	1	7	3	0.86350	126.268	0.5
81	0	12	2	0.85830	127.655	0.1
82	2	5	3	0.84970	130.067	1.3
83	1	12	2	0.83800	133.622	0.3
84	3	8	2	0.83390	134.956	0.1
85	2	13	1	0.82590	137.713	1.4
86	4	8	0	0.82250	138.955	0.7
87	4	0	2	0.81940	140.129	0.8
88	3	11	1	0.81940	140.129	0.8
89	4	2	2	0.81240	142.948	0.4
90	3	12	0	0.80830	144.723	0.2
91	2	14	0	0.80730	145.172	0.1
92	2	7	3	0.80570	145.905	0.1
93	1	9	3	0.80370	146.848	0.2
94	3	1	3	0.80000	148.678	0.4
95	0	15	1	0.80000	148.678	0.4

### Stick Pattern





## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 1987. *ASM Handbook Volume 13: Corrosion*. ASM International Handbook Committee.
- \_\_\_\_\_. 1987. *ASM Handbook Volume 13A: Corrosion : Fundamentals Testing, and Protection*. ASM International Handbook Committee.
- \_\_\_\_\_. 2004. *Standard Guide for Conducting Corrosion Test in Field Applications*. In ASTM G1-03. ASTM International.
- \_\_\_\_\_. (2004). *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. In ASTM G31-72. ASTM International.
- Callister, D. William. (2010). *Materials Science and Engineering an Introduction*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Cicek V dan Al-Numan B. (2011). *Corrosion Chemistry*. Wiley.
- Dewi, Inti Sari P. (2012). “*Pengaruh Variasi pH dan Konsentrasi Asam Asetat terhadap Karakteristik Korosi CO<sub>2</sub> pada Baja BS970*”. Jurnal Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dugstad, Arne dkk. (2006). “*Corrosion Testing in Multiphase Flow*”, *Challenges and Limitations*”. NACE.
- Fontana, M.G. (1978). *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill Book Companu : USA



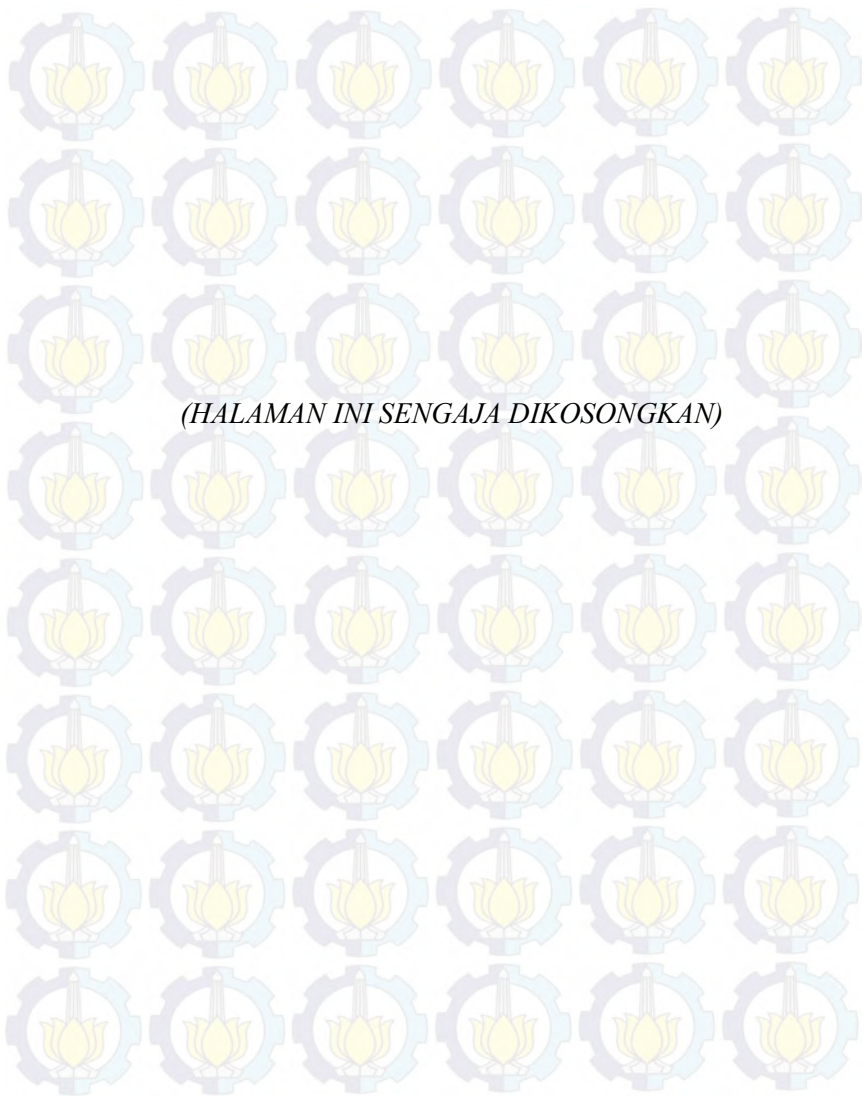
- Gabe, D.R., dkk. (1997). *"The Rotating Cylinder Electrode : its Continued Development and Application"*. IPTME : Great Britania
- Ismail, M.C., Asmara, Y.P., (2010). *"Application of Response Surface Design to Characterize CO<sub>2</sub> Corrosion Mechanistically"*. Petromine Pipeliner.
- Nurhamzah, P.N. (2011). *"Studi Korosi pada Sampel Pipa Baja API 5L X-52 Dengan Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran dan Gas CO<sub>2</sub> Pada pH 6 Dalam Larutan NaCl 3,5%"*. UI : Universitas Indonesia:Depok.
- Perez, Nestor. (2004). *Electrochemistry and Corrosion Science*. Kluwer Academic Publisher.
- Pine Research Instrumentation. (2006). *"Study of Mass-Transport Limited Corrosion Using Pine Rotated Cylinder Electrodes"*. Pine Research Instrumentation Rev 002
- Revie, R.W, Uhlig, H.H S. (2008). *Corrosion and Corrosion Control 4th Edition*. UI : Wiley-Interscience : USA.
- Risonarta, Victor Yuardi. (2015). *Bahan Ajar Kuliah Fenomena Transport 2*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- Scheers, P.V. (1992). *"The Effects of Flow Velocity and pH on The Corrosion Rate of Mild Steel in Synthetic Minewater"*. J. S. Afr. Inst. Min. Metall., vol 92, no. 10. pp. 275-281
- Silverman. D.C.. (2004). *"Rotating Cylinder Electrode for Examining Velocity-Sensitive Corrosion-A Review Corrosion"*. Critical Review of Corrosion Science and Engineering.

Triharto, Dandi P. (2010). *“Studi Ketahanan Korosi SUS 316L, SUS 317 L, SUS 329J dan Hastelloy C-276 dalam Asam Asetat yang Mengandung Ion Bromida”*. Universitas Indonesia : Depok.

Utomo, Budi. (2009). *“Jenis Korosi dan Penanggulangannya”*. Universitas Diponegoro : Semarang.

Yusuf, S. (2008). *“Laju Korosi Pipa Baja Karbon A106 Sebagai Fungsi Temperatur Dan Konsentrasi NaCl Pada Fluida Yang Tersaturasi GAS CO<sub>2</sub>”*. UI : Universitas Indonesia : Depok.

Zaki, Ahmad. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. Butterworth-Heinemann : IChem<sup>E</sup>



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Gilang Maulana Hidayatullah, merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Zamroni dan Ibu Munawaroh yang lahir di Lumajang, 12 Agustus 1994. Penulis menyelesaikan studi formalnya di SDN Kaliboto Lor 01, Kec. Jatiroto. SMPN 1 Lumajang. SMAN 2 Lumajang. kemudian melanjutkan studi S1 di Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri (FTI)– ITS pada tahun 2012.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material (HMMT) FTI-ITS sebagai Staff Divisi Aplikatif BSO MTC HMMT FTI-ITS (2013-2014) dan Wakil Direktur BSO MTC HMMT FTI-ITS (2014-2015). Penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS (2015-2016). Pencapaian prestasi akademik yang pernah diraih penulis adalah PKM-K didanai (2013-2014), Finalis Maritim Conference Bawean (2015), serta PKM-T medali Emas (2014-2015). Selain itu penulis pernah kerja praktek di PT. Pertamina Geothermal Energy area Kamojang, Jawa Barat. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan.

Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 081938573794 atau bisa hubungi di alamat email [gmhidayatullah@gmail.com](mailto:gmhidayatullah@gmail.com)